

明 細 書

無線通信装置および無線通信方法

技術分野

- [0001] 本発明は、マルチキャリア方式を適用したデジタル無線通信システムに用いられる無線通信装置および無線通信方法に関する。

背景技術

- [0002] 近年、無線通信の大容量化や高速化への要求が高まりを見せており、有限な周波数資源の有効利用率を向上させる方法に関する研究が盛んである。その方法の一つとして空間領域を利用する技術が注目を集めている。代表的なものとしては、伝搬路における空間的な直交性を利用することで、同一時刻に、同一周波数で、同一符号の物理チャネルを用いて、異なるデータ系列を伝送する技術が挙げられる。この伝送技術には、異なるデータ系列を異なる移動局に対して伝送する空間多元接続(SDMA: Space Division Multiple Access)技術(例えば、非特許文献1参照)および異なるデータを同一の移動局に伝送する空間多重(SDM: Space Division Multiplexing)技術(例えば、非特許文献2参照)という技術がある。
- [0003] 上記SDM技術において、送信側装置では、送信側装置に備えられた複数のアンテナから、アンテナ毎に、同一時刻に、同一周波数で、同一符号の物理チャネルを用いて、異なるデータ系列を送信する一方、受信側装置では、送受信アンテナ間の伝搬路特性を示すチャネル行列に基づいて、受信側装置に備えられた複数のアンテナでの受信信号から、異なるデータ系列を分離受信する(以下、「BLAST型」と言う)ことで、周波数利用効率の向上を可能にしている。SDM伝送を行う場合、十分なS/N(信号電力対雑音電力比)条件下の送受信側装置間に多数の散乱体が存在する環境下では、送信側装置および受信側装置が同数のアンテナを備えている場合に、アンテナ数に比例して通信容量を拡大することができる。
- [0004] また、無線通信の大容量化や高速化を実現する上で、マルチパスやフェージングに対する耐性を向上することが重要となっている。マルチキャリア伝送方式はこれらを実現するための一つのアプローチであり、特に直交周波数分割多重(OFDM)伝送

方式は地上波デジタル放送や広帯域無線アクセスシステムに採用されている。

- [0005] このOFDM伝送にSDM伝送を適用した伝送方式に関しては、例えば非特許文献3に記載されたものがある。この伝送方式では、各サブキャリアは、ガードインターバル長を超過するマルチパスが存在しないとき、狭帯域伝送、すなわちフラットフェージング伝送とみなすことができる。このため、サブキャリア毎にチャンネル行列を算出し、算出したチャンネル行列Hに基づいてSDM伝送を行う例が多く報告されている。

非特許文献1: "A Study on a Channel Allocation scheme with an Adaptive Array in SDMA", Ohgane, T., et al., IEEE 47th VTC, pp.725-729, vol.2, 1997

非特許文献2: "Layered Space-Time Architecture for Wireless Communication in a fading environment when using multi-element antennas", Foschini, G. J., Bell Labs Tech. J, pp.41-59, Autumn 1996

非特許文献3: "On the Capacity of OFDM-based Spatial Multiplexing Systems", IEEE Trans. Communications, vol.50, pp.225-234, 2002

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、従来の無線通信システムにおいては、サブキャリア毎に、チャンネル行列を算出し、サブキャリア毎に、空間多重に用いる空間多重数、変調方式、変調多値数および符号化率等の伝送フォーマットを設定する必要があり、また、サブキャリア数が多くなるとそれに伴って処理量が増加するため、伝送フォーマットを設定する無線通信装置に負荷がかかると共に装置規模の増大を招いてしまうという問題があった。

- [0007] 本発明の目的は、伝送フォーマットを設定するときの負荷を軽減すると共に、装置規模の増大を抑制することができる無線通信装置および無線通信方法を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の無線通信装置は、空間多重伝送にマルチキャリア方式を適用した無線伝送を行う無線通信装置であって、マルチキャリア伝送の通信帯域を分割することで得られ且つ複数のサブキャリア信号が属する分割帯域毎に、空間多重伝送への適合

度を検出する検出手段と、前記分割帯域毎に検出された適合度に基づいて、無線伝送を行うときに用いられる伝送フォーマットを設定する設定手段と、を有する構成を採る。

- [0009] 本発明の無線通信方法は、空間多重伝送にマルチキャリア方式を適用した無線伝送を行う無線通信装置における無線通信方法であって、マルチキャリア伝送の通信帯域を分割することで得られ且つ複数のサブキャリア信号が属する分割帯域毎に、空間多重伝送への適合度を検出する検出ステップと、前記分割帯域毎に検出された適合度に基づいて、無線伝送を行うときに用いられる伝送フォーマットを設定する設定ステップと、を有するようにした。

発明の効果

- [0010] 本発明によれば、伝送フォーマットを設定するときの負荷を軽減すると共に、装置規模の増大を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]本発明の実施の形態1に係る基地局装置の構成を示すブロック図
[図2]本発明の実施の形態1における分割帯域とサブキャリア信号の関係を示す図
[図3]本発明の実施の形態1における空間多重適合度検出部の構成の要部を示すブロック図
[図4]本発明の実施の形態1に係る基地局装置が移動局装置と無線通信を行うときの動作の一例を説明するための図
[図5]本発明の実施の形態2に係る基地局装置の構成を示すブロック図
[図6]本発明の実施の形態3に係る基地局装置の構成を示すブロック図
[図7]本発明の実施の形態3に係る基地局装置が移動局装置と無線通信を行うときの動作の一例を説明するための図
[図8A]本発明の実施の形態3に係る基地局装置から時分割多重によって送信されるアンテナ個別パイロット信号のフレーム構成を示す図
[図8B]本発明の実施の形態3に係る基地局装置から符号分割多重によって送信されるアンテナ個別パイロット信号のフレーム構成を示す図
[図8C]本発明の実施の形態3に係る基地局装置から時分割多重および符号分割多

重の組み合わせによって送信されるアンテナ個別パイロット信号のフレーム構成を示す図

[図9]本発明の実施の形態4に係る基地局装置の構成を示すブロック図

[図10]本発明の実施の形態4における空間多重適合度検出部の構成の要部を示すブロック図

[図11]本発明の実施の形態5に係る基地局装置の構成を示すブロック図

[図12]本発明の実施の形態5における分割帯域とサブキャリア信号の関係を示す図
発明を実施するための最良の形態

[0012] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、以下全ての実施の形態では、基地局装置から移動局装置への送信（以下「ダウンリンク」と言う）信号における伝送フォーマットの設定を行う場合について説明を行う。

[0013] （実施の形態1）

図1は、本発明の実施の形態1に係る基地局装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施の形態では、TDD（Time Division Duplex）方式の無線通信システムの場合について説明する。また、本実施の形態では、移動局装置から基地局装置への送信（以下「アップリンク」と言う）信号の基地局装置での受信結果を基に空間多重適合度の検出を行う場合を例にとって説明する。

[0014] 図1に示す基地局装置100は、 N_a 本のアンテナ102-1～102- N_a 、 N_a 個の共用部104-1～104- N_a 、 N_a 個の受信系アンテナ素子部106-1～106- N_a 、空間多重適合度検出部108、伝送フォーマット設定部110、伝送フォーマット形成部112、 N_a 個のシリアルパラレル変換（S/P）部114-1～114- N_a 、および N_a 個の送信系アンテナ素子部116-1～116- N_a を有する。

[0015] また、受信系アンテナ素子部106-1～106- N_a は、分波器120-1～120- N_a をそれぞれ有する。伝送フォーマット形成部112は、符号化部122、変調部124、および空間多重化部126を有する。送信系アンテナ素子部116-1～116- N_a は、混合器128-1～128- N_a をそれぞれ有する。

[0016] また、基地局装置100と無線通信を行うSDM対応の移動局装置150は、 N_r 本のアンテナ152-1～152- N_r を有する。

- [0017] アンテナ102-1〜102-Naは、送受信系共通のアンテナである。共用部104-1〜104-Naは、アンテナ102-1〜102-Naで受信した高周波信号S-1〜S-Naを分波器120-1〜120-Naに出力し、混合器128-1〜128-Naから入力された高周波信号S-1〜S-Naをアンテナ102-1〜102-Naを介して無線送信する。
- [0018] 分波器120-k(ただし、k=1〜Na)は、共用部104-kから入力された高周波信号S-kに対して高周波増幅や周波数変換等の処理を施した後、Ns個のサブキャリア信号 $f_{1-k} \sim f_{Ns-k}$ に分波し、空間多重適合度検出部108に出力する。
- [0019] 空間多重適合度検出部108は、Ns個のサブキャリア信号 $f_{1-k} \sim f_{Ns-k}$ が属する通信帯域をNd個(ただし、Ndは自然数: $Ns > Nd \geq 1$)に分割することで得られるNd個の分割帯域DB-1〜DB-Nd毎に、空間多重適合度つまり空間多重伝送への適合度を検出し、その検出結果#1〜#Ndを伝送フォーマット設定部110に出力する。
- [0020] なお、各分割帯域DB-1〜DB-Ndに属するサブキャリア信号の個数は必ずしも等しい必要はないが、以下では、Nc個($Nc = Ns / Nd$)のサブキャリア信号が均等に各分割帯域DB-1〜DB-Ndに属するものとして説明する。分割帯域とサブキャリア信号の関係は、図2に示すとおりであり、各分割帯域内にNc個のサブキャリア信号が存在する。一方、各分割帯域に属するサブキャリア信号数が異なる場合は、第m番目の分割帯域DB-kに属するサブキャリア信号数は $Nc(m)$ と表され、次の(式1)の関係を満たす。

[数1]

$$Ns = \sum_{m=1}^{Nd} Nc(m) \quad \dots (式1)$$

- [0021] ここで、空間多重適合度検出部108の内部構成について図3を用いて説明する。空間多重適合度検出部108は、分割帯域DB-m(ただし、m=1〜Nd)に対応するNd個の分割帯域処理部156-1〜156-Ndを有する。ただし、図3においては、説明の便宜上、分割帯域DB-1を処理する分割帯域処理部156-1のみの構成を示す。その他の分割帯域処理部156-2〜156-Ndの構成は分割帯域処理部156-1の構成と同様であるためその説明を省略する。なお、図3では、一つの分割帯域に属するサブキャリア信号の個数を2個とした場合を例にとっており、サブキャリア信号f

$-k$ 、 $f_{n(m)} - k$ が分割帯域DB-1に属する。

[0022] 分割帯域処理部156-mは、各サブキャリア信号 $f_{n(m)} - 1 \sim f_{n(m)} - Na$ に埋め込まれた既知の信号であるパイロット信号のレプリカを生成するレプリカ生成部160、各サブキャリア信号 $f_{n(m)} - 1 \sim f_{n(m)} - Na$ に含まれる受信パイロットシンボルおよび生成されたレプリカの相関値を算出する相関演算部170-n-1～170-n-Na(ただし、 $n=1 \sim Nc$)、算出された相関値に基づいて相関行列を生成する相関行列生成部180、および生成された相関行列に基づいて空間多重伝送に対する適合度を評価するための適合度評価関数を演算する適合度評価関数演算部190を有する。ただし、 $n(m)$ は、分割帯域DB-mに属するサブキャリア信号の番号を示す。

[0023] なお、分割帯域処理部156-mは、分割帯域DB-mに属するサブキャリア信号 $f_{n(m)} - 1 \sim f_{n(m)} - Na$ の全てを用いなくても良い。例えば、サブキャリア信号 $f_{n(m)} - 1 \sim f_{n(m)} - Na$ のいくつかの間引きした上で、分割帯域DB-mに対する処理を行っても良い。サブキャリア信号の間引きする場合は、空間多重伝送への適合度の検出精度を向上させることが難しくなるが、処理演算量を削減する効果を得ることができる。

[0024] 相関演算部170-n-kは、生成されたレプリカおよび各サブキャリア信号 $f_{n(m)} - 1 \sim f_{n(m)} - Na$ に含まれる受信パイロットシンボルの相関値を算出する相関演算を行う。ここで、パイロット信号を $r(s)$ (ただし、 $s=1 \sim Np$ 、 Np はパイロット信号のシンボル数)とすると、相関演算部170-n-kは、(式2)に示す相関演算を行うことで、相関値 h_{nk} を算出する。ただし、 No はシンボルに対するオーバサンプル数、「 $*$ 」は複素共役転置演算子を示す。

[数2]

$$h_{nk} = \frac{1}{Np} \sum_{s=1}^{Np} f_{n-k}(t_0 + No \cdot (s-1)) r^*(s) \quad \cdots \text{(式2)}$$

[0025] 相関行列生成部180は、算出された相関値 h_{nk} に基づいて、列ベクトルつまり(式3)によりサブキャリア毎に求められる相関ベクトル V_n を用いて、(式4)に示す相関行列 R を生成する。ただし、 $n=1 \sim Nc$ 、 $k=1 \sim Na$ であり、 T はベクトル転置演算子を示し、 H は複素共役転置演算子を示す。

[数3]

$$V_n = [h_{n,1} \ h_{n,2} \ \dots h_{n,N_d}]^T \quad \dots \text{(式3)}$$

[数4]

$$R = \frac{1}{N_c} \sum_{n=1}^{N_c} V_n V_n^H \quad \dots \text{(式4)}$$

[0026] すなわち、相関行列Rの生成においては、上記の(式4)に示されているとおり、相関ベクトル V_n から相関行列($V_n V_n^H$) (以下「自己相関」と言う)を算出する。さらに、自己相関を統合することによって相関行列Rを得る。本実施の形態では、各サブキャリア信号に対応づけられた自己相関を加算することによって自己相関を統合する。こうすることによって、より高品質な受信状態のサブキャリア信号に相当する成分をより強調することができ、伝送フォーマット設定の精度を向上することができる。

[0027] 適合度評価関数演算部190は、生成された相関行列Rに対して固有値展開を行い、 N_d 個の固有値 λ_k を求める。また、算出された固有値 λ_k を大きい順にソートし、最大のものから添え字を付与する。そして、(式5)および(式6)に示す適合度評価関数値A、Bを生成し、これらを含む検出結果#mを、分割帯域DB-mの空間多重適合度として出力する。このように、算出された固有値 λ_k から複数の関数値を含む空間多重適合度を得るため、空間多重に適しているか否かの判定に複数の指標を提供することができ、一つの指標のみを用いて判定を行った場合に比して判定精度を向上することができる。ここで、適合度評価関数値Aは移動局装置150からの受信信号の信号電力対雑音電力比(SNR)を示すものである。また、適合度評価関数値Bは、空間的な広がり进行评估する一つの尺度である。なお、相関行列Rは、エルミート行列であるため、固有値は実数値となる。

[数5]

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_{N_d}) = \frac{\lambda_1}{\lambda_{N_d}} \quad \dots \text{(式5)}$$

[数6]

$$B(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_{N_d}) = \frac{\lambda_2 - \lambda_{N_d}}{\lambda_1 - \lambda_{N_d}} \quad \dots \text{(式6)}$$

[0028] 伝送フォーマット設定部110は、各検出結果#mに含まれる適合度評価関数値A、Bに基づいて、通信帯域における伝送フォーマットを設定する。

- [0029] より具体的には、まず、伝送フォーマット設定部110は、各分割帯域DB-mの適合度評価関数値A、Bをそれぞれ所定数と比較する。この比較の結果、適合度評価関数値A、Bが共に所定数より大きい場合、受信信号レベルが高く、かつ空間的な広がり大きいと判断される、すなわち、空間多重伝送に適合していると判断され、ダウンリンクにおいて空間多重伝送が行われるような伝送フォーマットが設定される。一方、適合度評価関数値A、Bのいずれかが所定値以下になる場合は、SNRが低いとか空間的な広がりが小さく、空間多重伝送に適合しないと判断され、ダウンリンクにおいて空間多重伝送を行わず一つのチャネルに対して指向性送信を行うような伝送フォーマット(空間多重数=1)が設定される。
- [0030] 伝送フォーマットは、通信帯域の空間多重数、変調方式、符号化率および送受信用重み付け係数(以下「送受信ウェイト」と言う)を求めることで設定される。通信帯域の空間多重数の算出において、伝送フォーマット設定部110は、各分割帯域DB-mに対応する空間多重数の分布を求め、最大割合を占める空間多重数を通信帯域における空間多重数とする。
- [0031] また、伝送フォーマット設定部110は、設定された伝送フォーマットを通知するための伝送フォーマット制御信号を生成し、伝送フォーマット形成部112に出力する。
- [0032] なお、伝送フォーマット設定部110は、適合度評価関数値Aに応じて、変調部124における変調多値数(変調方式)や符号化部122における符号化率を適応的に変化させ設定する処理を行っても良い。例えば、適合度評価関数値Aは受信信号のSNRを示すことから、伝送フォーマット設定部110は、回線品質が良好なほど、符号化部122での符号化率を低くしたり変調部124での変調多値数を増加したりする。設定された変調多値数(変調方式)や符号化率は、空間多重数と共に伝送フォーマット制御信号として伝送フォーマット形成部112に通知される。
- [0033] また、適合度評価関数値Bとの比較に用いられる所定数は、適合度評価関数値Aの値に連動させて変化させても良い。この場合、例えば、適合度評価関数値Aが大きいほど、適合度評価関数値Bとの比較に用いられる所定数を小さくする等の適用が考えられる。こうすることによって、空間的な広がりに基づく伝送フォーマット設定を、受信品質(本実施の形態ではSNR)に従って適応的に制御することができる。

- [0034] 符号化部122は、伝送フォーマット制御信号に示された符号化率に基づいて、送信データ系列を符号化する。
- [0035] 変調部124は、伝送フォーマット制御信号に示された変調多値数(変調方式)に基づいて、符号化された送信データ系列を変調する。
- [0036] 空間多重化部126は、変調された送信データ系列を、伝送フォーマット制御信号に示された空間多重数と同数に分割し、分割された各送信データ系列に送信ウェイトを乗算し、S/P部114-1〜114-Naに出力する。
- [0037] S/P部114-1〜114-Naは、空間多重化部126から入力された送信データ系列をシリアルパラレル変換することにより、サブキャリア信号毎のデータ系列に変換されたマルチキャリア信号となる。混合器128-1〜128-Naは、S/P部114-1〜114-Naから入力されたマルチキャリア信号を混合し、共用部104-1〜104-Naに出力する。
- [0038] 次いで、上記構成を有する基地局装置100が移動局装置150と無線通信を行うときの動作について説明する。図4は、基地局装置100が移動局装置150と無線通信を行うときの動作の一例を説明するための図である。ここでは、空間多重伝送用の伝送フォーマットを使用しない通常伝送モードから空間多重伝送用の伝送フォーマットを使用する空間多重伝送モードに移行するときの、空間多重伝送モードの手順について説明する。
- [0039] まず、移動局装置150は、フレーム同期およびシンボル同期の確立後に、アンテナ152-1〜152-Nrの各々から、空間多重伝送用のアンテナ個別パイロット信号を時間分割または符号分割して送信する(S1100)。
- [0040] そして、基地局装置100は、相関演算部170-n-kで、受信したアンテナ個別パイロット信号を用いて、チャネル推定つまり $N_r \times N_a$ 個のチャネル推定値 $h(j, k)$ の推定を行う(S1200)。ここで、 $j=1 \sim N_r$ である。続いて、適合度評価関数演算部190で、アンテナ102-1〜102-Naの、移動局装置毎の受信品質を推定する(S1300)。
- [0041] そして、伝送フォーマット設定部110で、チャネル推定値 $h(j, k)$ を(式7)のように行列表記したチャネル行列 H を特異値分解する。そして、大きい順に N_m 個の特異値 λ_j に対応する右特異値ベクトルを基地局装置100における送信ウェイト(送信ウェイト

トベクトル)とし、特異値 λ_j に対応する左特異値ベクトルを移動局装置150における受信ウェイト(受信ウェイトベクトル)とする。ただし、 N_m は、 $1 \leq N_m < \min(N_r, N_a)$ を満たす自然数である。これにより、 N_m 個の空間多重伝送を行うことが可能となる。以上の動作をサブキャリア信号毎に行う。そして、得られた受信ウェイトを移動局装置150に通知する(S1400)。

[数7]

$$H = \begin{bmatrix} h(1,1) & h(1,2) & \dots & h(1,N_a) \\ h(2,1) & h(2,2) & \dots & h(2,N_a) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h(N_r,1) & h(N_r,2) & \dots & h(N_r,N_a) \end{bmatrix} \dots \text{(式7)}$$

[0042] そして、移動局装置150は、受信ウェイトに基づいて、個別のユーザのデータチャネル(ユーザチャネル)の受信に対応する処理を行う(S1500)。そして、基地局装置100は、送信ウェイトに基づいて、個別ユーザチャネルの送信を開始し(S1600)、移動局装置150は、個別ユーザチャネルの受信を開始する(S1700)。以上の動作により、空間多重適合度の検出結果に応じて空間多重伝送を行うことが可能となる。

[0043] このように、本実施の形態によれば、隣接するサブキャリア信号間での空間的なスペクトラムの相関が高いことを利用し、通信帯域を複数の分割帯域DB-1〜DB-Ndに分割し、各分割帯域DB-1〜DB-Ndに属する各サブキャリア信号から得られる相関ベクトル V_n を合成して相関行列 R を生成し、生成された相関行列 R を用いて分割帯域毎の空間多重適合度の検出を行うことで、各分割帯域に属するサブキャリア信号の平均的な到来パスの空間的な広がりを検出することが可能となる。したがって、分割帯域の帯域幅を適性に設定し、分割帯域毎に空間多重適合度の検出を行うことで、サブキャリア信号毎に行われる空間多重適合度の検出に比べて、処理演算量を削減することができ、装置規模の増大を抑制することができる。本実施の形態では、通信帯域の伝送フォーマットを一度に設定するため、サブキャリア信号毎に伝送フォーマットを設定するのに比べて、処理演算量を大幅に削減することができる。

[0044] すなわち、本実施の形態によれば、各分割帯域に属するサブキャリア信号群について到来パスの平均的な空間広がり特性を得ることにより、空間多重伝送制御に、サブキャリア信号群の空間的特性を評価する評価指標を導入することができる。この評

価指標は、従来の手法には存在していなかったため、従来の手法では伝送フォーマットをサブキャリア信号毎に設定せざるを得なかった。したがって、従来では、伝搬環境によって通信帯域内の特定帯域にノッチ(レベル低下)が生じた結果として、レベルが低下したサブキャリア信号についての相関値演算で誤差が増大した場合に、伝送フォーマットが誤設定されることがあった。これに対して本実施の形態では、評価指標の導入により、伝送フォーマットを、サブキャリア信号のグループ単位で設定することができ、前述の場合において誤設定が生じることを防止することができる。

- [0045] また、本実施の形態によれば、伝搬路の状態が空間多重伝送に適合していると判定されたときのみ、空間多重伝送モードに移行することが可能となるため、空間多重伝送に適合していない伝搬路における不要なパイロット信号の挿入による実効的な伝送レートの低下、および、不要な演算処理による消費電力の増加を防止することができる。
- [0046] なお、基地局装置100の構成は、上記のものに限定されない。例えば、上記の構成に、伝搬環境に応じて分割帯域を適応的に変更する構成を追加しても良い。例えば、相関帯域幅(コヒーレント帯域幅)に基づき分割帯域を変更する構成が挙げられる。この構成によって、伝送フォーマット設定の精度と演算量との間に最適なトレードオフを与えることができる。
- [0047] また、空間多重適合度検出部108の構成は、上記のものに限定されない。例えば、上記の構成に、移動局装置150の推定移動速度やドップラー周波数推定値等を含む移動局装置150のモビリティに関する評価値を算出する構成を追加しても良い。この場合、SDM割り当て処理により遅延が生じるため、移動局装置150が所定のモビリティ以上の状態の場合は、移動局装置150に対してSDM伝送が行われないような伝送フォーマットが設定される。これにより空間多重伝送を安定化することができる。
- [0048] また、本実施の形態では、本発明の無線通信装置を基地局装置100に適用し、ダウンリンクにおける伝送フォーマットの設定に関する説明を行ったが、本発明の無線通信装置を移動局装置150に適用することにより、アップリンクにおける伝送フォーマットの設定を行うことも可能である。
- [0049] また、適合度評価関数値A、Bは、上記のものに限定されない。他に、適合度評価

関数値Aとしては、受信信号電力(RSSI:Received Signal Strength Indicator)を用いても良く、受信パイロット信号の平均信号レベルを用いても良く、または、受信パイロット信号の平均信号レベルをSとし瞬時パイロット受信信号の分散状況をNとしたSNRを用いても良い。また、適合度評価関数値Bは、パス到来方向推定に用いる角度スペクトラムの広がりに基づいて算出されても良い。この場合、(式8)に示すような角度スペクトラム評価関数 $F(\theta)$ において、パス到来方向を意味する θ を適宜可変スイープし、角度スペクトラムのピーク方向におけるスペクトラムの広がりを求めることで、適合度評価関数値Bを求めることができる。ここで、 $a(\theta)$ は、アンテナ102-1〜102-Naの方向ベクトルを示し、アンテナ102-1〜102-Naが等間隔直線アレーの場合、(式9)のように表すことができる。また、 d はアンテナ間隔、 λ はキャリア周波数帯における波長を示す。

[数8]

$$F(\theta) = a(\theta)^H R a(\theta) \quad \dots (式8)$$

[数9]

$$a(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\{-j2\pi d \cdot 1 \cdot \sin \theta / \lambda\} \\ \vdots \\ \exp\{-j2\pi d \cdot (Na - 1) \cdot \sin \theta / \lambda\} \end{bmatrix} \quad \dots (式9)$$

[0050] ここでは、フーリエ法が用いられているが、良く知られたMUSIC法、ESPRIT法といった固有値分解手法や、相関行列の逆行列演算を含むCapon法等のパス到来方向推定の高分解能手法による角度スペクトラムを用いてもよい。

[0051] また、相関波の抑圧のために、空間スムージング手法を相関行列Rに適用しても良い。ただし、各分割帯域に属するサブキャリア信号数がアンテナ数よりも小さい場合は、相関行列生成部180の出力である相関行列Rのランク数がフルランクにならない場合が考えられる。このため、各分割帯域に属するサブキャリア信号数に応じて、または、当該サブキャリア信号数とパス数を加算した数に応じて、方向推定アルゴリズムを適宜選択する必要がある。また、アンテナ102-1〜102-Naの構成が等間隔直線アレー配置である場合、相関行列生成部180で得られる相関行列Rに対し、空間スムージング処理を適用したり、ユニタリ変換行列を乗算し方向ベクトルを実数化した

ビームスペースで到来方向を推定する処理を適用したりすることも可能である。

- [0052] なお、相関行列生成部180は、上記(式4)に示される相関行列Rの代わりに、次の(式10)に示す相関ベクトル z を生成しても良い。この場合、適合度評価関数演算部190は、上記(式5)に示される適合度評価関数値Aの代わりに、次の(式11)に示す適合度評価関数値 $A(z)$ を算出し、上記(式6)に示される適合度評価関数値Bの代わりに、次の(式12)に示す適合度評価関数値 $B(z)$ を算出する。

[数10]

$$z = \frac{1}{Nc} \sum_{n=1}^{Nc} V_{n,1} \cdot V_n \quad \dots \text{(式10)}$$

[数11]

$$A(z) = \frac{z_1}{\frac{1}{NcNp} \sum_{n=1}^{Nc} \sum_{s=1}^{Np} |f_{n-1}(t_0 + No(s-1))r^*(s) - h_{n,1}|^2} \quad \dots \text{(式11)}$$

[数12]

$$B(z) = \frac{|z_1|}{|z_2|} \quad \dots \text{(式12)}$$

- [0053] すなわち、まず、移動局装置150から送信されるパイロット信号 $r(s)$ を用いたSNR評価(=S/N)が行われる。この評価においては、(式11)に示された適合度評価関数値 $A(z)$ が用いられる。ただし、 z_k は、(式10)に示す相関ベクトル z における第k番目の要素を表す。そして、相関ベクトル z を用いて、アンテナ102-1〜102-Naにおけるアンテナ間での受信信号の相関を、(式12)に示す適合度評価関数値 $B(z)$ を算出することで評価する。

- [0054] また、本実施の形態では、図3において、レプリカ生成部160、相関演算部170-n-kおよび相関行列生成部180の組み合わせにより、既知のパイロット信号を用いて相関行列Rを生成する構成について説明したが、空間多重適合度検出部108の内部構成は、これに限定されない。例えば、パイロット信号を用いずに相関行列を算出する手法の適用も可能である。この場合、アレーアンテナにおける異なるブランチ間での相関値を算出することで、相関行列を算出することができる。ここで算出される相関行列Rbの第(j, k)要素は次の(式13)のように示すことができる。なお、Nbは所定のサンプルデータ数である。本手法ではパイロット信号が不要であるため、パイロット

信号挿入による伝送効率の低下を抑えることができる。また、相関ベクトル z に対しても同様な処理の適用が可能である。

[数13]

$$r_{jk} = \frac{1}{Nb} \sum_{i=1}^{Nb} f_{n-j}^*(t) f_{n-k}(t) \quad \cdots \text{(式13)}$$

[0055] また、本実施の形態において、マルチキャリア信号として伝送されるサブキャリア信号は、直交周波数分割多重されたサブキャリア信号でも良い。この場合、各サブキャリア信号がOFDMシンボル区間内で直交する周波数が選択され使用される。また、送信信号を周波数軸方向に符号分割多重するMC-CDMA (MultiCarrier - Code Division Multiple Access) 方式への適用も可能である。この場合、サブキャリア信号に埋め込まれ個別ユーザ毎に多重されたパイロット信号を用いてユーザ毎に各サブキャリア信号の相関値を算出することで、上記と同様の作用効果を実現することができる。

[0056] (実施の形態2)

図5は、本発明の実施の形態2に係る基地局装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施の形態に係る基地局装置は、実施の形態1で説明した基地局装置と同様の基本的構成を有しており、同一の構成要素には同一の参照符号を付し、その詳細な説明を省略する。

[0057] 図5に示す基地局装置200は、実施の形態1で説明した伝送フォーマット形成部112と同じ内部構成を有するNd個の伝送フォーマット形成部112-1〜112-Ndを有し、実施の形態1で説明したS/P部114-1〜114-Naと同じ内部構成を有するNd組のS/P部114-1-1〜114-1-Na、…、114-Nd-Naを有し、実施の形態1で説明した伝送フォーマット設定部110の代わりに伝送フォーマット設定部202を有し、送信データ系列をNd個のデータ系列にシリアルパラレル変換するS/P部204を有する。

[0058] 本実施の形態の基地局装置200の特徴は、実施の形態1の基地局装置100が通信帯域の伝送フォーマットを設定したのに対し、分割帯域毎の伝送フォーマットを設定することである。

- [0059] 伝送フォーマット設定部202は、各検出結果#mに含まれる適合度評価関数値A、Bに基づいて、分割帯域毎における伝送フォーマットを設定する。
- [0060] より具体的には、まず、伝送フォーマット設定部202は、各分割帯域DB-mの適合度評価関数値A、Bをそれぞれ所定数と比較する。この比較の結果、適合度評価関数値A、Bが共に所定数より大きい場合、受信信号レベルが高く、かつ空間的な広がり大きいと判断される、すなわち、空間多重伝送に適合していると判断され、ダウンリンクにおいて空間多重伝送が行われるような伝送フォーマットが設定される。一方、適合度評価関数値A、Bのいずれかが所定値以下になる場合は、SNRが低いか空間的な広がりが小さく、空間多重伝送に適合しないと判断され、ダウンリンクにおいて空間多重伝送を行わず一つのチャネルに対して指向性送信を行うような伝送フォーマット(空間多重数=1)が設定される。
- [0061] 伝送フォーマットは、分割帯域毎の空間多重数、変調方式、符号化率および送受信ウェイトを求めることで設定される。
- [0062] また、伝送フォーマット設定部202は、分割帯域毎に設定された伝送フォーマットを通知するための伝送フォーマット制御信号を生成し、伝送フォーマット形成部112-1〜112-Ndに出力する。
- [0063] なお、伝送フォーマット設定部202は、適合度評価関数値Aに応じて、変調部124-1〜124-Ndにおける変調多値数(変調方式)や符号化部122-1〜122-Ndにおける符号化率を適応的に変化させ設定する処理を行っても良い。例えば、適合度評価関数値Aは受信信号のSNRを示すことから、伝送フォーマット設定部202は、回線品質が良好なほど、符号化部122-1〜122-Ndでの符号化率を低くしたり変調部124-1〜124-Ndでの変調多値数を増加したりする。設定された変調多値数(変調方式)や符号化率は、空間多重数と共に伝送フォーマット制御信号として伝送フォーマット形成部112-1〜112-Ndに通知される。
- [0064] また、適合度評価関数値Bとの比較に用いられる所定数は、適合度評価関数値Aの値に連動させて変化させても良い。この場合、例えば、適合度評価関数値Aが大きいほど、適合度評価関数値Bとの比較に用いられる所定数を小さくする等の適用が考えられる。

- [0065] 伝送フォーマット形成部112-1〜112-Ndの各々は、実施の形態1で説明した伝送フォーマット形成部112が通信帯域の伝送フォーマットを形成するのに対して、分割帯域毎の伝送フォーマットを形成し、分割帯域毎に空間多重した(または空間多重されなかった)送信データ系列を、対応するS/P部を通じて混合器128-1〜128-Naに出力する。
- [0066] このように、本実施の形態によれば、隣接するサブキャリア信号間での空間的なスペクトラムの相関が高いことを利用し、通信帯域を複数の分割帯域DB-1〜DB-Ndに分割し、各分割帯域DB-1〜DB-Ndに属する各サブキャリア信号から得られる相関ベクトル V_n を合成して相関行列 R を生成し、生成された相関行列 R を用いて分割帯域毎の空間多重適合度の検出を行うことで、各分割帯域に属するサブキャリア信号の平均的な到来パスの空間的な広がりを検出することが可能となる。したがって、分割帯域の帯域幅を適性に設定し、分割帯域毎に空間多重適合度の検出を行うことで、サブキャリア信号毎に行われる空間多重適合度の検出に比べて、処理演算量を削減することができ、装置規模の増大を抑制することができる。本実施の形態では、分割帯域毎に伝送フォーマットを設定するため、処理演算量を削減することができるだけでなく、分割帯域毎に最適な伝送フォーマットを設定することもできる。
- [0067] なお、本実施の形態では、本発明の無線通信装置を基地局装置200に適用し、ダウンリンクにおける伝送フォーマットの設定に関する説明を行ったが、本発明の無線通信装置を移動局装置側に適用することにより、アップリンクにおける伝送フォーマットの設定を行うことも可能である。
- [0068] また、本実施の形態において、実施の形態1で(式13)を用いて説明したように、パイロット信号を用いずに相関行列を算出する手法を適用しても良い。
- [0069] (実施の形態3)
- 図6は、本発明の実施の形態3に係る基地局装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施の形態に係る基地局装置は、実施の形態1で説明した基地局装置100と同様の基本的構成を有しており、同一の構成要素には同一の参照符号を付し、その説明を省略する。また、本実施の形態では、FDD(Frequency Division Duplex)方式の無線通信システムの場合について説明する。

- [0070] 図6に示す基地局装置300は、実施の形態1で説明した空間多重適合度検出部108の代わりに、空間多重適合度検出部302を有する。
- [0071] また、基地局装置300と無線通信を行うSDM対応の移動局装置350は、Nr本のアンテナ352-1〜352-Nrを有する。
- [0072] 本実施の形態の基地局装置300の特徴は、実施の形態1ではアップリンク信号の基地局装置での受信結果を基に空間多重適合度の検出を行うのに対し、移動局装置からのフィードバック情報を基に空間多重適合度の検出を行うことである。
- [0073] 空間多重適合度検出部302は、移動局装置350からの受信信号からフィードバック情報を抽出する。フィードバック情報は、移動局装置350でアンテナ個別パイロット信号を用いて算出されたチャネル推定値および測定された受信品質を含む情報である。
- [0074] また、空間多重適合度検出部302は、抽出されたフィードバック情報を用いて、分割帯域毎の検出結果#1〜#Ndを生成し、伝送フォーマット設定部110に出力する。
- [0075] なお、空間多重適合度検出部302を移動局装置350に設けることで、移動局装置側で分割帯域毎の検出結果#1〜#Ndを生成し、その結果を基地局装置側へのフィードバック情報としても良い。または、空間多重適合度検出部302および伝送フォーマット設定部110を移動局装置350に設けることで、移動局装置側で分割帯域毎の検出結果#1〜#Ndを生成し、さらに伝送フォーマット設定部110による設定結果を、基地局装置側へのフィードバック情報としても良い。このように、移動局装置側の装置構成を一部変更することにより、フィードバック情報量を少なくすることができ、周波数利用効率を高めることができる。
- [0076] 次いで、上記構成を有する基地局装置300が移動局装置350と無線通信を行うときの動作について説明する。図7は、基地局装置300が移動局装置350と無線通信を行うときの動作の一例を説明するための図である。ここでは、空間多重伝送用の伝送フォーマットを使用しない通常伝送モードから空間多重伝送用の伝送フォーマットを使用する空間多重伝送モードに移行するときの、空間多重伝送モードの手順について説明する。

- [0077] まず、基地局装置300は、フレーム同期およびシンボル同期の確立後に、アンテナ102-1〜02-Naの各々から、空間多重伝送用のアンテナ個別パイロット信号を送信する(S3100)。アンテナ個別パイロット信号は、所定シンボル数 N_p からなる。
- [0078] ここで、送信されるアンテナ個別パイロット信号に関して、図面を参照しながら説明する。図8A、図8Bおよび図8Cは、アンテナ個別パイロット信号のフレーム構成を示す図である。例えば、図8Aに示すように、同一のパターンまたは互いに直交するパターン(例えば、PN信号等)を有するアンテナ個別パイロット信号 AP_k が、アンテナ毎に送信タイミングをシフトする時分割多重によって送信されても良い。また、図8Bに示すように、アンテナ個別パイロット信号 AP_k は、符号分割多重送信されても良い。この場合、アンテナ個別パイロット信号 AP_k はアンテナ毎に互いに直交するパターンを有する。
- [0079] また、図8Cに示すように、アンテナ個別パイロット信号 AP_k は、時分割多重および符号分割多重の組み合わせによって送信されても良い。すなわち、この場合は、同一時刻の時分割スロットを共有するアンテナ個別パイロット信号(例えば、図8Cでは AP_1 および AP_2)は、互いに直交するパターンが使用される。時分割多重および符号分割多重の組み合わせによってアンテナ個別パイロット信号を送信することで、基地局装置300のアンテナ数 N_a が多い場合の時分割送信のオーバーヘッドを低減することができ、符号分割多重時の伝搬路における直交性低減を緩和することができる。
- [0080] なお、アンテナ数 N_a が十分多い場合、または、SDMにおける空間多重数がアンテナ数 N_a よりも小さく制限されている場合、 N_a 個の全ての送信系を用いる必要はない。例えば、アンテナ102-1〜102-Naのいくつかのアンテナからアンテナ個別パイロット信号を送信しても良い。
- [0081] そして、移動局装置350は、アンテナ個別パイロット信号 AP_k に含まれるアンテナ個別パイロットシンボル $AP_k(t)$ をアンテナ350-1〜350-Nrを通じて分離受信する(ただし、 $t=1\sim N_p$)。そして、分離受信したアンテナ個別パイロットシンボル $AP_k(t)$ を用いてチャネル推定を行う(S3200)。
- [0082] より具体的には、移動局装置350は、移動局装置350のアンテナ350-j(ただし、 $j=1\sim Nr$)でのアンテナ個別パイロットシンボル $AP_k(t)$ の受信結果 $r_{j,k}(t)$ と、移動局

装置350の内部で生成したアンテナ個別パイロット信号のレプリカ $AP_k(t)$ との相関演算を行うことで、(式14)に示すようなチャネル推定値 $h(j, k)$ を算出する。すなわち、チャネル推定値 $h(j, k)$ は、 $N_a \times N_r$ 個算出される。なお、「 $*$ 」は複素共役転置演算子を示す。

[数14]

$$h(j, k) = \sum_{i=1}^{N_p} AP_k^*(t) r_{j,k}(t) \quad \cdots \text{(式14)}$$

[0083] なお、このとき、受信結果 $r_{j,k}(t)$ を複数回にわたって保存し、保存された複数の受信結果 $r_{j,k}(t)$ に対して平均化処理を行っても良い。この場合、移動局装置350の移動速度が十分に小さければ、雑音の影響を低減することができ、チャネル推定の精度を向上させることができる。

[0084] そして、移動局装置350は、アンテナ個別パイロット信号毎および移動局装置350のアンテナ毎の受信品質 $P(j, k)$ を推定する(S3300)。ここで、受信品質としては、受信信号電力、SIR(信号電力対干渉電力比)、SNR等の使用が考えられるが、ここではSNRを用いた場合の例を説明する。信号電力を $S(j, k) = |h(j, k)|^2 / N_p$ とし、雑音電力を次の(式15)で算出した場合、 $S(j, k) / N(j, k)$ を行うことにより受信品質 $P(j, k)$ を推定することができる。

[数15]

$$N(j, k) = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} |r_{j,k}(t) - S(j, k)|^2 \quad \cdots \text{(式15)}$$

[0085] そして、移動局装置350は、算出されたチャネル推定値 $h(j, k)$ および受信品質 $P(j, k)$ を基地局装置300に送信する(S3400)。なお、受信品質に関しては、 $N_a \times N_r$ 個の受信品質 $P(j, k)$ を送信する代わりに、フィードバック情報削減のため、次の(式16)で示すように $N_a \times N_r$ 個の受信品質 $P(j, k)$ を平均化したものを送信しても良い。また、平均化された値を送信する代わりに、 $N_a \times N_r$ 個の受信品質 $P(j, k)$ の中央値または最大値を送信しても良い。

[数16]

$$P_s = \frac{1}{N_a N_r} \sum_{j=1}^{N_a} \sum_{k=1}^{N_r} P(j, k) \quad \cdots \text{(式16)}$$

- [0086] そして、基地局装置300は、空間多重適合度検出部302で、移動局装置350からの受信信号の中から、チャンネル推定値 $h(j, k)$ および受信品質 $P(j, k)$ を含むフィードバック情報を抽出する。その後、伝送フォーマット設定部110で、チャンネル推定値 $h(j, k)$ を(式7)のように行列表記したチャンネル行列 H を特異値分解する。そして、大きい順に N_m 個の特異値 λ_j に対応する右特異値ベクトルを基地局装置300における送信ウェイト(送信ウェイトベクトル)とし、特異値 λ_j に対応する左特異値ベクトルを移動局装置350における受信ウェイト(受信ウェイトベクトル)とする。これにより、 N_m 個の空間多重伝送を行うことが可能となる。なお、ここで算出された特異値 λ_j に対し、注水定理を適用した適応的な送信電力制御を行ってもよい。以上の動作をサブキャリア毎に行う。そして、得られた受信ウェイトを移動局装置350に通知する(S3500)。そして、実施の形態1にて説明したステップS1500〜S1700が実行される。
- [0087] なお、上記の動作において、基地局装置300が空間多重モードに移行した後は、チャンネル行列 H を特異値分解して得られる特異値の大きさに基づいて空間多重適合度の検出が行われても良い。
- [0088] また、固有ベクトルによる送信ビーム形成を行わない場合、すなわち、アンテナ毎に異なるデータ系列を送信するBLAST型の空間多重を用いる場合、チャンネル推定結果および受信品質算出結果のフィードバックは不要である。この場合は、移動局装置350で、チャンネル推定結果および受信品質算出結果に基づいて多重される個別ユーザチャンネルの受信処理が行われる。
- [0089] このように、本実施の形態によれば、移動局装置350からのフィードバック情報を基に、基地局装置300で分割帯域毎の空間多重適合度の検出を行うため、FDD方式の無線通信システムにおいても、実施の形態1と同様の作用効果を実現することができる。
- [0090] なお、移動局装置350からのフィードバック情報に基づく基地局装置300での分割帯域毎の空間多重適合度検出は、TDD方式の無線通信システムにも適用することが可能である。
- [0091] また、本実施の形態では、本発明の無線通信装置を基地局装置300に適用し、ダウンリンクにおける伝送フォーマットの設定に関する説明を行ったが、本発明の無線

通信装置を移動局装置350に適用することにより、アップリンクにおける伝送フォーマットの設定を行うことも可能である。

[0092] また、本実施の形態において、実施の形態1で(式13)を用いて説明したように、パイロット信号を用いずに相関行列を算出する手法を適用しても良い。

[0093] (実施の形態4)

図9は、本発明の実施の形態4に係る基地局装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施の形態に係る基地局装置は、実施の形態1で説明した基地局装置100と同様の基本的構成を有しており、同一の構成要素には同一の参照符号を付し、その説明を省略する。また、本実施の形態では、各サブキャリア信号が時間軸方向に直接拡散されるMC-CDMA方式を用いた無線通信システムの場合について説明する。

[0094] 図9に示す基地局装置400は、実施の形態1で説明した空間多重適合度検出部108の代わりに、空間多重適合度検出部402を有する。

[0095] 本実施の形態の基地局装置の特徴は、移動局装置からの各サブキャリア信号に埋め込まれたパイロット信号を用いてパスのタイミングを検出し、検出されたパスのタイミング毎に、空間多重適合度の検出に用いられる相関値の算出を行うことである。

[0096] 空間多重適合度検出部402は、 N_s 個のサブキャリア信号 $f_1-k \sim f_{N_s}-k$ が属する通信帯域を N_d 個に分割することで得られる N_d 個の分割帯域DB-1～DB- N_d 毎に、空間多重適合度を検出し、その検出結果#1～# N_d を伝送フォーマット設定部110に出力する。

[0097] ここで、空間多重適合度検出部402の内部構成について図10を用いて説明する。空間多重適合度検出部402は、分割帯域DB- m に対応する N_d 個の分割帯域処理部403-1～403- N_d を有する。ただし、図10においては、説明の便宜上、分割帯域DB-1を処理する分割帯域処理部403-1のみの構成を示す。その他の分割帯域処理部403-2～403- N_d の構成は分割帯域処理部403-1の構成と同様であるためその説明を省略する。なお、図10では、一つの分割帯域に属するサブキャリア信号の個数を2個とした場合を例にとっており、サブキャリア信号 f_1-k 、 f_2-k が分割帯域DB-1に属する。

[0098] 分割帯域処理部403-mは、各サブキャリア信号 $f_{n(m)}-k$ に埋め込まれた既知の信号であるパイロット信号を用いてサブキャリア信号毎に L_n 個の到来パスのタイミングを検出するパスサーチ部404-nと、パイロット信号のレプリカを生成するレプリカ生成部406-n-1〜406-n- L_n と、各サブキャリア信号 $f_{n(m)}-k$ に含まれる受信パイロットシンボルおよび生成されたレプリカの相関値を算出する相関演算部408-n-k-1〜408-n-k- L_n と、算出された相関値に基づいて相関行列を生成する相関行列生成部410と、生成された相関行列に基づいて空間多重伝送に対する適合度を評価するための適合度評価関数を演算する適合度評価関数演算部412を有する。

[0099] なお、分割帯域処理部403-mは、分割帯域処理部156-mと同様に、分割帯域D B-mに属するサブキャリア信号 $f_{n(m)}-k$ の全てを用いなくても良い。例えば、サブキャリア信号 $f_{n(m)}-k$ のいくつかを間引きした上で、分割帯域DB-mに対する処理を行っても良い。サブキャリア信号を間引きする場合は、空間多重伝送への適合度の検出精度を向上させることが難しくなるが、処理演算量を削減する効果を得ることができる。

[0100] パスサーチ部404-nは、各サブキャリア信号 $f_{n(m)}-k$ に埋め込まれたパイロット信号を用いて遅延プロファイルを作成し、作成された遅延プロファイルを用いてパスタイミングを検出する。第k番目のアンテナ102-kで受信された第n番目のサブキャリア信号 f_n-k に対する、第j番目のパスタイミング t_j における相関値 $h_{nk}(t_j)$ は、次の(式17)で表される。ここで、パイロット信号を $r(s)$ とする。

[数17]

$$h_{nk}(t_j) = \sum_{s=1}^{N_p} f_{n-k}(t_j + N_o \cdot (s-1)) r^*(s) \quad \cdots \text{(式 17)}$$

[0101] なお、遅延プロファイルは、(1)相関値 $h_{nk}(t_j)$ の絶対値または2乗を同じタイミング毎に合成する方法、(2)指向性ビーム形成するウェイトを同じタイミングの相関値 $h_{nk}(t_j)$ に乗算後、加算し、その絶対値あるいは2乗をとることで複数の遅延プロファイルを生成する方法、もしくは(3)それらを合成する方法により生成する。また、遅延プロファイルは、複数フレーム間にわたり平均化することで、ノイズ成分を抑圧することができる。

- [0102] 相関行列生成部410は、算出された相関値 $h_{nk}(t_j)$ に基づいて、(式18)に示す相関ベクトル V_n を用いて、(式19)に示す相関行列 R を生成する。

[数18]

$$V_n(t_j) = [h_{n,1}(t_j) \quad h_{n,2}(t_j) \cdots h_{n,Na}(t_j)]^T \quad \cdots \text{ (式18)}$$

[数19]

$$R = \frac{1}{NcLn} \sum_{n=1}^{Nc} \sum_{j=1}^{Ln} V_n(t_j) V_n(t_j)^H \quad \cdots \text{ (式19)}$$

- [0103] 適合度評価関数演算部412は、実施の形態1で説明した適合度評価関数演算部190と同様に、生成された相関行列 R に対して固有値展開を行い、 Na 個の固有値 λ_k を求める。また、算出された固有値 λ_k を大きい順にソートし、最大のものから添え字を付与する。そして、(式5)および(式6)に示す適合度評価関数値 A 、 B を生成し、これらを検出結果 $\#m$ として出力する。

- [0104] このように、本実施の形態によれば、移動局装置150からの各サブキャリア信号に埋め込まれたパイロット信号を用いてパスのタイミングを検出し、検出されたパスのタイミング毎に、空間多重適合度の検出に用いられる相関値の算出を行うため、基地局装置400に到来するマルチパスの信号を含めて分割帯域毎の適合度の検出を行うことができ、パスダイバーシチ効果によってその検出精度を向上させることができる。

- [0105] なお、相関行列生成部410は、上記の(式19)に示す相関行列 R の代わりに、次の(式20)に示す相関ベクトル z を生成しても良い。この場合、適合度評価関数演算部412は、上記(式18)に示す適合度評価関数値 A の代わりに、次の(式21)に示す適合度評価関数値 $A(z)$ を算出し、上記(式19)に示す適合度評価関数値 B の代わりに、次の(式22)に示す適合度評価関数値 $B(z)$ を算出する。

[数20]

$$z = \frac{1}{NcLn} \sum_{n=1}^{Nc} \sum_{j=1}^{Ln} V_{n,1}^*(t_j) V_n(t_j) \quad \cdots \text{ (式20)}$$

[数21]

$$A(z) = \frac{z_1}{\frac{1}{N_c L_n N_p} \sum_{n=1}^{N_c} \sum_{l=1}^{L_n} \sum_{p=1}^{N_p} |f_{n-1}(t_0 + N_o(s-1))r^*(s) - h_{n,1}|^2} \dots \quad (\text{式 2 1})$$

[数22]

$$B(z) = \frac{|z_1|}{|z_2|} \dots \quad (\text{式 2 2})$$

[0106] すなわち、まず、移動局装置150から送信されるパイロット信号 $r(s)$ を用いたSNR評価(=S/N)が行われる。この評価においては、(式21)に示された適合度評価関数値Aが用いられる。ただし、 z_k は、(式20)に示す相関ベクトル z における第k番目の要素を表す。そして、相関ベクトル z を用いて、アンテナ102-1〜102-Naにおけるアンテナ間での受信信号の相関を、(式22)に示す適合度評価関数値B(z)を算出することで評価する。

[0107] また、本実施の形態では、本発明の無線通信装置を基地局装置400に適用し、ダウンリンクにおける伝送フォーマットの設定に関する説明を行ったが、本発明の無線通信装置を移動局装置側に適用することにより、アップリンクにおける伝送フォーマットの設定を行うことも可能である。

[0108] また、本実施の形態において、実施の形態1で(式13)を用いて説明したように、パイロット信号を用いずに相関行列を算出する手法を適用しても良い。

[0109] (実施の形態5)

図11は、本発明の実施の形態5に係る基地局装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施の形態に係る基地局装置は、実施の形態1で説明した基地局装置100と同様の基本的構成を有しており、同一の構成要素には同一の参照符号を付し、その説明を省略する。また、本実施の形態では、周波数軸方向に拡散することで複数ユーザに対し符号分割多重を行うマルチキャリア方式を適用した無線通信システムの場合について説明する。

[0110] 図11に示す基地局装置500は、実施の形態1で説明した基地局装置100の構成要素に加えて、分割帯域可変部502を有する。

[0111] 本実施の形態の基地局装置の特徴は、符号分割多重されるユーザチャネル用の拡散率に応じて分割帯域の帯域幅を変更することである。

- [0112] 分割帯域可変部502は、符号分割多重伝送されるユーザチャネルの拡散率に応じて分割帯域の帯域幅を変更する。すなわち、第 q 番目のユーザチャネルが、拡散率 $SF(q)$ の拡散符号系列 $S_q(s)$ で周波数軸方向に拡散されている場合(すなわち、 $SF(q)$ 本のサブキャリア信号を用いて送信データ系列を拡散する場合)、その拡散処理で使用するサブキャリア信号のグループを一つの分割帯域とする。このように拡散率 $SF(q)$ に応じて分割帯域の帯域幅が変更されるため、通信帯域における分割帯域の個数 $N_d(q)$ は可変となる。
- [0113] ここで、分割帯域とサブキャリア信号の関係は、図12に示すとおりである。周波数軸上の N_s 個のサブキャリア信号は、ユーザチャネルの拡散率 $SF(q)$ に応じて $N_d(q)$ 個の分割帯域に分割される。各分割帯域には、 $N_c = SF(q)$ 個のサブキャリア信号が存在する。なお、各分割帯域内に存在するサブキャリア信号の数を $w \times SF(q)$ 個(w :自然数)としても同様の作用効果を得ることができるが、本実施の形態では、 $w=1$ として説明する。
- [0114] また、分割帯域可変部502は、帯域幅が変更された分割帯域 $DB-m$ (本実施の形態では、 $m=1 \sim N_d(q)$)を、空間多重適合度検出部108における $N_d(q)$ 個の分割帯域処理部156- m に割り当てる。
- [0115] このように、本実施の形態によれば、周波数軸方向に符号分割多重された複数のユーザチャネルに対し、ユーザ毎の拡散率に応じて分割帯域の帯域幅(サブキャリア信号数)を変更するため、拡散され送信されるチャネル毎の空間多重適合度の検出を行うことが可能となる。
- [0116] なお、本実施の形態で説明した基地局装置500の特徴を実施の形態2で説明した基地局装置200に適用しても良い。基地局装置200では分割帯域毎に伝送フォーマットの設定が行われるため、本実施の形態での特徴を適用すれば、拡散され送信されるチャネル毎に最適な伝送フォーマットを設定し、チャネル毎に最適な空間多重伝送を行うことが可能となる。この場合、移動局装置で空間多重データを受信するとき、拡散シンボル単位(またはその整数倍)での受信処理を行うことができる。
- [0117] また、本実施の形態で説明した基地局装置500の特徴を実施の形態3で説明した基地局装置300に適用しても良い。この場合でも、上記と同様の作用効果を実現す

ることができる。

- [0118] また、本実施の形態では、マルチキャリア信号が周波数軸方向に拡散される伝送方式を例にとつて説明したが、マルチキャリア信号が周波数軸および時間軸方向の両方に拡散される伝送方式にも、本発明を適用することができる。このような伝送方式においては、第 q 番目のユーザの拡散率 $SF(q)$ は、(式23)に示すように、周波数軸方向の拡散率 $SF_f(q)$ と時間軸方向の拡散率 $SF_t(q)$ の積で表すことができる。このため、この伝送方式を基地局装置500に適用する場合、周波数軸方向の拡散率 $SF_f(q)$ に基づいて分割帯域の帯域幅を変更することで、同様の作用効果を実現することができる。

$$SF(q) = SF_f(q) \times SF_t(q) \quad \cdots (式23)$$

- [0119] また、本実施の形態において、実施の形態1で(式13)を用いて説明したように、パイロット信号を用いずに相関行列を算出する手法を適用しても良い。

- [0120] 本明細書は、2003年7月28日出願の特願2003-280557および2004年7月21日出願の特願2004-213588に基づく。これらの内容はすべてここに含めておく。

産業上の利用可能性

- [0121] 本発明に係る無線通信装置および無線通信方法は、伝送フォーマットを設定するときの負荷を軽減すると共に装置規模の増大を抑制する効果を有し、マルチキャリア方式を適用したデジタル無線通信システムにおいて有用である。

請求の範囲

- [1] 空間多重伝送にマルチキャリア方式を適用した無線伝送を行う無線通信装置であって、
- マルチキャリア伝送の通信帯域を分割することで得られ且つ複数のサブキャリア信号が属する分割帯域毎に、空間多重伝送への適合度を検出する検出手段と、
- 前記分割帯域毎に検出された適合度に基づいて、無線伝送を行うときに用いられる伝送フォーマットを設定する設定手段と、
- を有する無線通信装置。
- [2] 前記検出手段は、
- 前記複数のサブキャリア信号の到来パスの平均的な空間広がりを含む適合度を検出する請求項1記載の無線通信装置。
- [3] 前記検出手段は、
- 前記複数のサブキャリア信号の各々に埋め込まれたパイロット信号と前記パイロット信号のレプリカとの相関値を算出する相関演算手段と、
- 算出された相関値に基づいて、前記分割帯域毎の適合度を算出する適合度関数演算手段と、
- を有する請求項2記載の無線通信装置。
- [4] 前記検出手段は、
- 前記相関値に基づいて前記分割帯域毎の相関行列を生成する生成手段をさらに有し、
- 前記適合度関数演算手段は、
- 前記相関行列を用いて、前記適合度を算出する請求項3記載の無線通信装置。
- [5] 前記生成手段は、
- 前記複数のサブキャリア信号の各々に対応する列ベクトルの相関行列を算出する請求項4記載の無線通信装置。
- [6] 前記生成手段は、
- 前記列ベクトルの相関行列を統合して前記分割帯域毎の相関行列を得る請求項5記載の無線通信装置。

- [7] 前記生成手段は、次式を用いて前記相関行列を算出する請求項4記載の無線通信装置。

[数1]

$$R = \frac{1}{N_c} \sum_{n=1}^{N_c} V_n V_n^H$$

ただし、

R:相関行列

N_c:分割帯域に属するサブキャリア信号の数

V_n:分割帯域に属する第n番目のサブキャリア信号に対応する列ベクトル

H:複素共役転置演算子

- [8] 前記適合度関数演算手段は、
前記相関行列の固有値から、第1の関数値と、前記第1の関数値と異なる第2の関数値と、を含む適合度を得る請求項4記載の無線通信装置。
- [9] 前記第1の関数値は受信品質を示し、前記第2の関数値は前記空間広がりを示し、
前記設定手段は、
前記空間広がり、前記受信品質に連動して変化する閾値と、の比較結果に従って、前記伝送フォーマットを設定する請求項8記載の無線通信装置。
- [10] 前記検出手段は、
前記相関値に基づいて前記分割帯域毎の相関ベクトルを生成する生成手段をさらに有し、
前記適合度関数演算手段は、
前記適合度の算出に前記相関ベクトルを用いる請求項3記載の無線通信装置。
- [11] 前記生成手段は、
前記複数のサブキャリア信号の各々に対応する列ベクトルと前記列ベクトルにおける所定の要素との相関をとる請求項10記載の無線通信装置。
- [12] 前記生成手段は、
前記相関の結果を統合して前記相関ベクトルを得る請求項11記載の無線通信装置。

- [13] 前記生成手段は、次式を用いて前記相関ベクトルを算出する請求項11記載の無線通信装置。

[数2]

$$z = \frac{1}{N_c} \sum_{n=1}^{N_c} V_{n,x} \cdot V_n$$

ただし、

z:相関ベクトル

N_c:分割帯域に属するサブキャリア信号の数

V_n:分割帯域に属する第n番目のサブキャリア信号に対応する列ベクトル

V_{n,x}:列ベクトルV_nにおけるx番目の要素

x:受信アンテナの数以下の定数

*:複素共役転置演算子

- [14] 前記パイロット信号を用いてパスのタイミングを検出するパスサーチ手段をさらに有し、

前記相関演算手段は、

検出されたパスのタイミング毎に、相関値の算出を行う請求項3記載の無線通信装置。

- [15] 前記検出手段は、

前記適合度の検出を行うとき、前記複数のサブキャリア信号のいずれかを間引きする請求項2記載の無線通信装置。

- [16] 前記検出手段は、

周波数軸方向における拡散率に応じて、前記分割帯域毎の帯域幅を変更する請求項2記載の無線通信装置。

- [17] 前記通信帯域に属しパイロット信号がそれぞれ埋め込まれた複数のサブキャリア信号を通信相手装置に送信する送信手段と、

送信された複数のサブキャリア信号の各々に埋め込まれたパイロット信号を用いて前記通信相手装置で取得され返信された情報を受信する受信手段と、をさらに有し、

- 前記検出手段は、
受信情報に基づいて、前記分割帯域毎の適合度の算出を行う請求項2記載の無線通信装置。
- [18] 前記検出手段は、
周波数軸方向における拡散率に応じて、前記分割帯域毎の帯域幅を変更する請求項17記載の無線通信装置。
- [19] 前記設定手段は、
前記分割帯域毎に検出された適合度に基づいて、前記通信帯域の空間多重数を決定する請求項2記載の無線通信装置。
- [20] 前記設定手段は、
前記分割帯域毎に検出された適合度に基づいて、前記分割帯域毎の空間多重数を決定する請求項2記載の無線通信装置。
- [21] 前記設定手段は、前記伝送フォーマットを空間多重伝送用伝送フォーマットに設定し、
前記空間多重伝送用伝送フォーマットを使用しないモードから前記空間多重伝送用伝送フォーマットを使用するモードへの移行が発生したときに、パイロット信号を送信する送信手段をさらに有する請求項2記載の無線通信装置。
- [22] 前記設定手段は、
既知信号を含む伝送フォーマットと、前記既知信号を含まない伝送フォーマットと、
のいずれかに設定する請求項2記載の無線通信装置。
- [23] 通信相手装置のモビリティに関する評価値を取得する取得手段をさらに有し、
前記設定手段は、
取得された評価値に基づいて前記伝送フォーマットを設定する請求項2記載の無線通信装置。
- [24] 前記検出手段は、
空間多重伝送に用いられるアレーアンテナにおける異なるブランチ間での相関値を算出する相関演算手段と、
算出された相関値に基づいて、前記分割帯域毎の適合度を算出する適合度関数

演算手段と、

を有する請求項2記載の無線通信装置。

[25] 前記検出手段は、

前記相関値に基づいて前記分割帯域毎の相関行列を生成する生成手段をさらに有し、

前記適合度関数演算手段は、

前記相関行列を用いて、前記適合度を算出する請求項24記載の無線通信装置。

[26] 前記適合度関数演算手段は、

前記相関行列の固有値から、第1の関数値と、前記第1の関数値と異なる第2の関数値と、を含む適合度を得る請求項25記載の無線通信装置。

[27] 前記第1の関数値は受信品質を示し、前記第2の関数値は前記空間広がりを示し、前記設定手段は、

前記空間広がり、前記受信品質に連動して変化する閾値と、の比較結果に従って、前記伝送フォーマットを設定する請求項26記載の無線通信装置。

[28] 前記検出手段は、

前記相関値に基づいて前記分割帯域毎の相関ベクトルを生成する生成手段をさらに有し、

前記適合度関数演算手段は、

前記適合度の算出に前記相関ベクトルを用いる請求項24記載の無線通信装置。

[29] 請求項1記載の無線通信装置を有する基地局装置。

[30] 請求項1記載の無線通信装置を有する移動局装置。

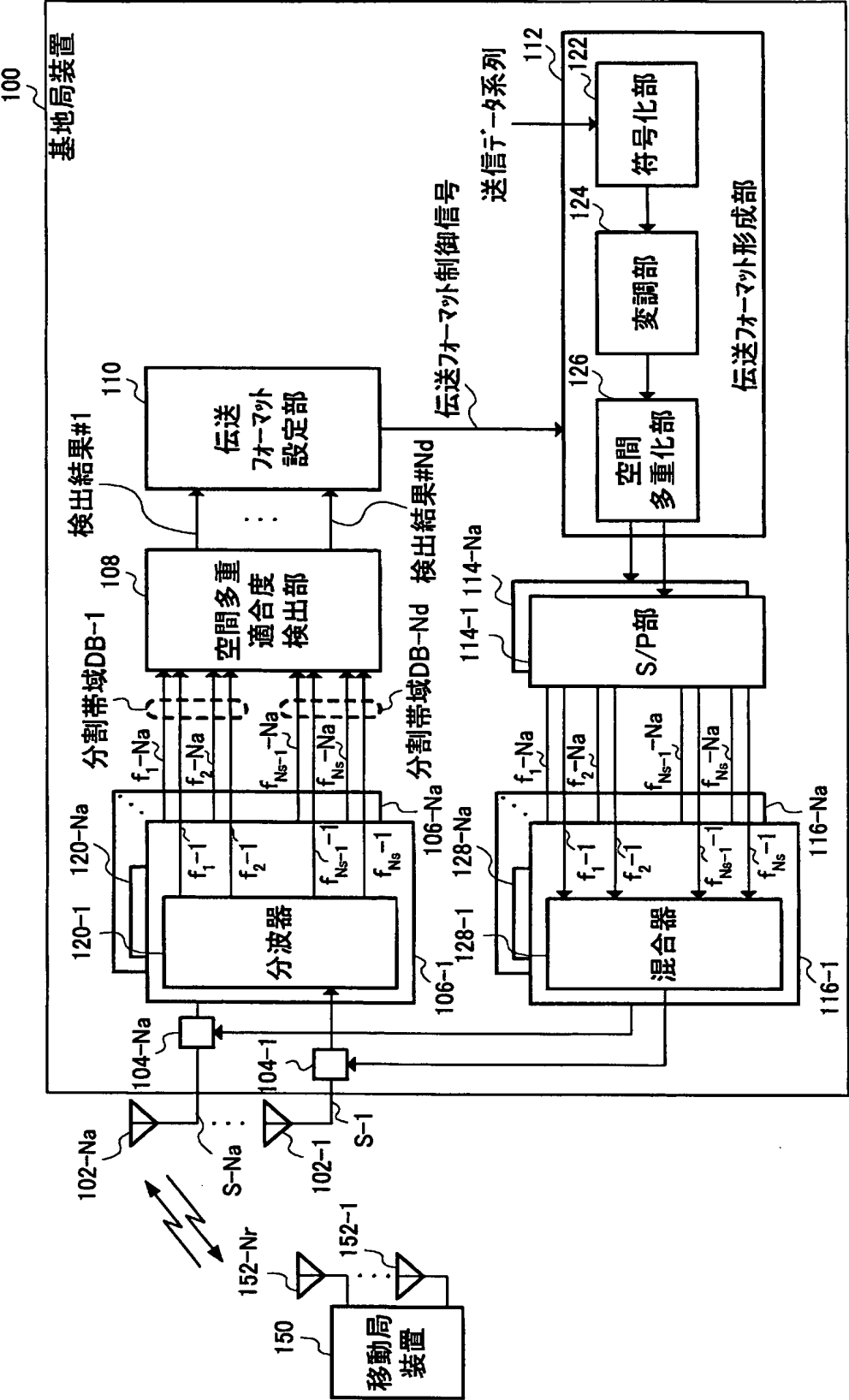
[31] 空間多重伝送にマルチキャリア方式を適用した無線伝送を行う無線通信装置における無線通信方法であって、

マルチキャリア伝送の通信帯域を分割することで得られ且つ複数のサブキャリア信号が属する分割帯域毎に、空間多重伝送への適合度を検出する検出ステップと、

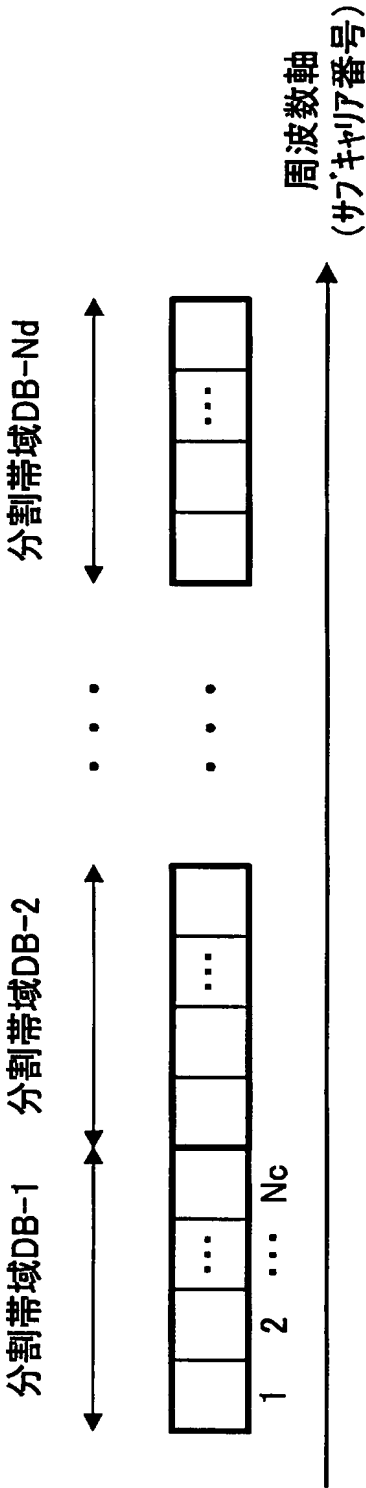
前記分割帯域毎に検出された適合度に基づいて、無線伝送を行うときに用いられる伝送フォーマットを設定する設定ステップと、

を有する無線通信方法。

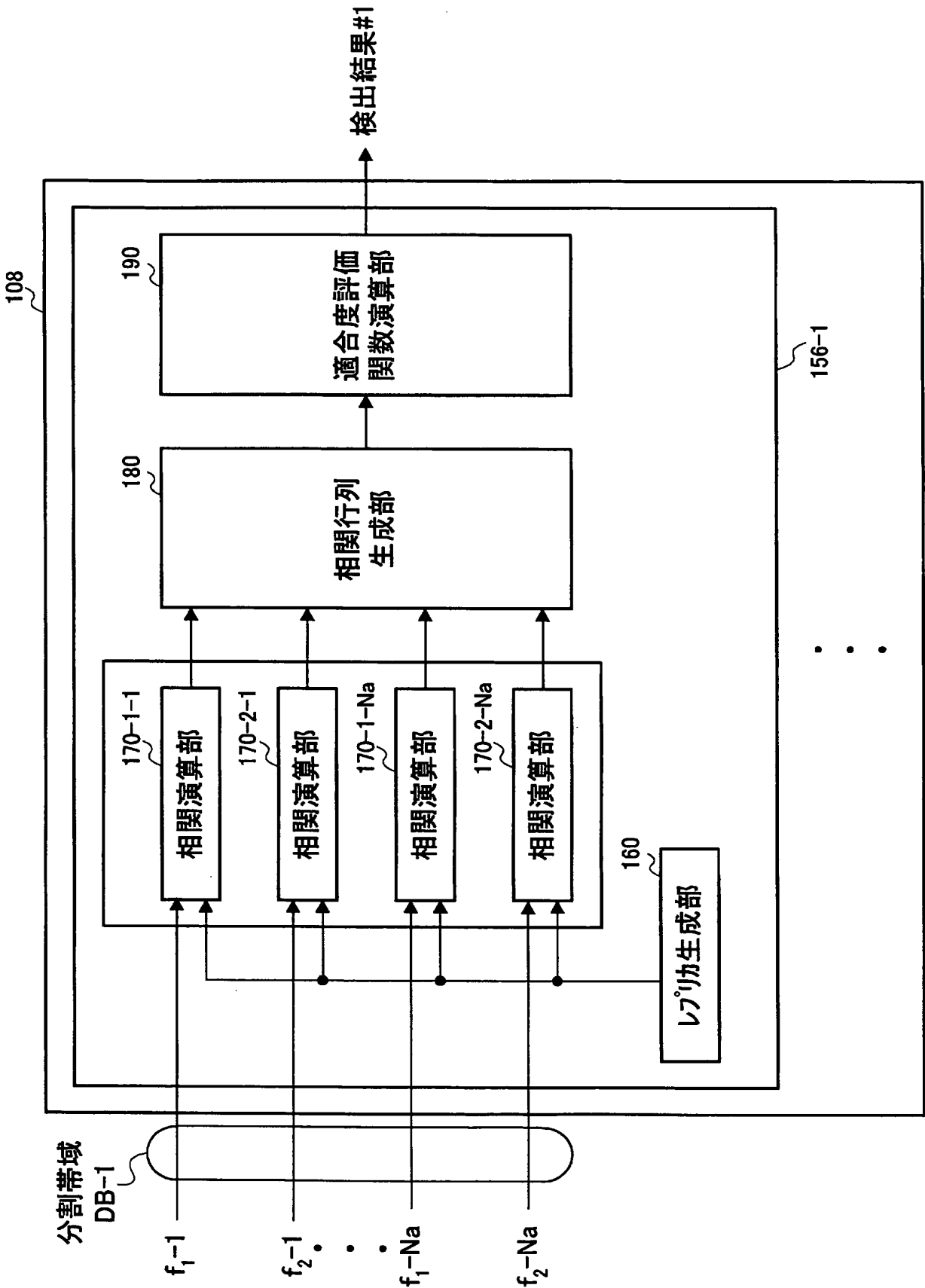
[図1]



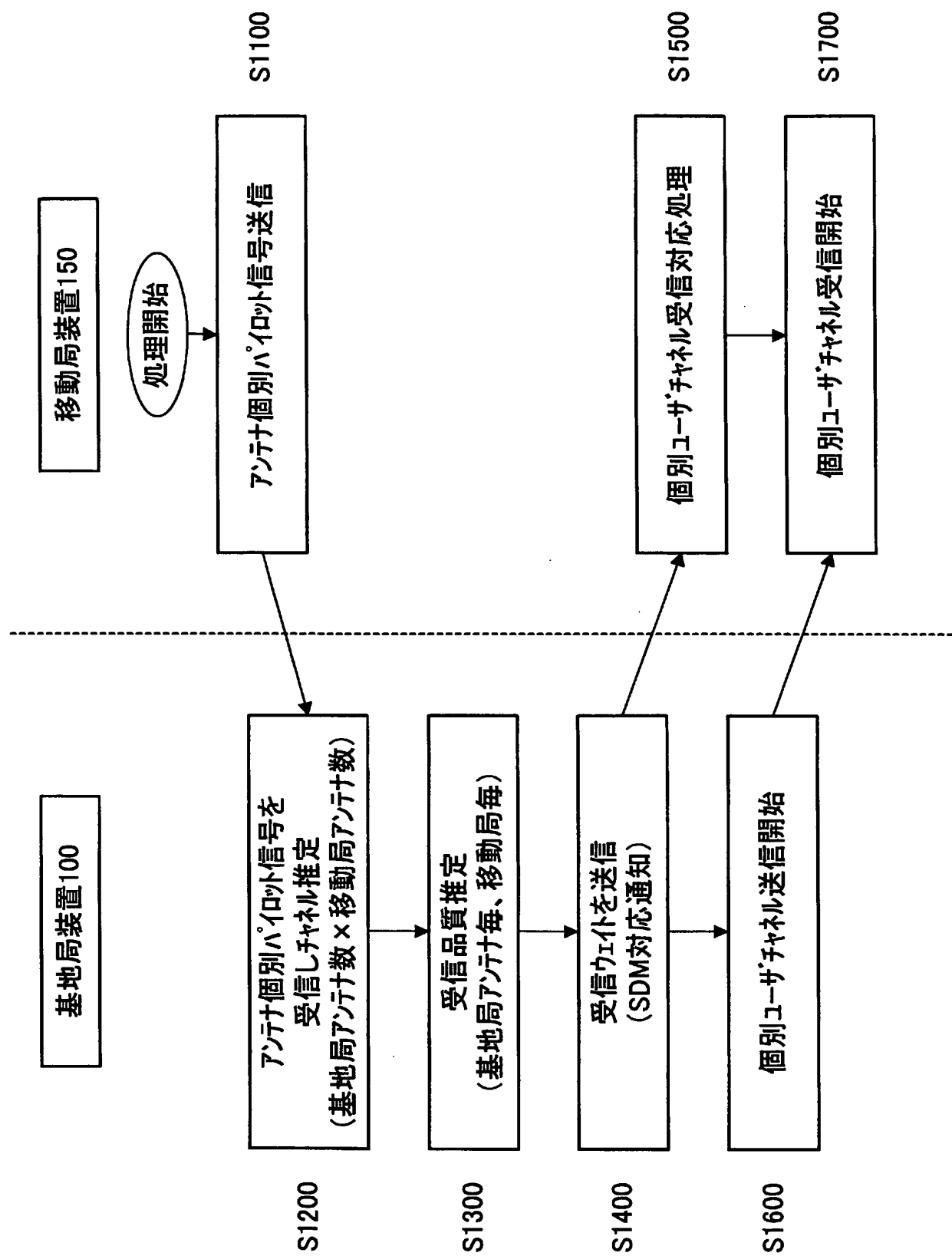
[図2]



[図3]

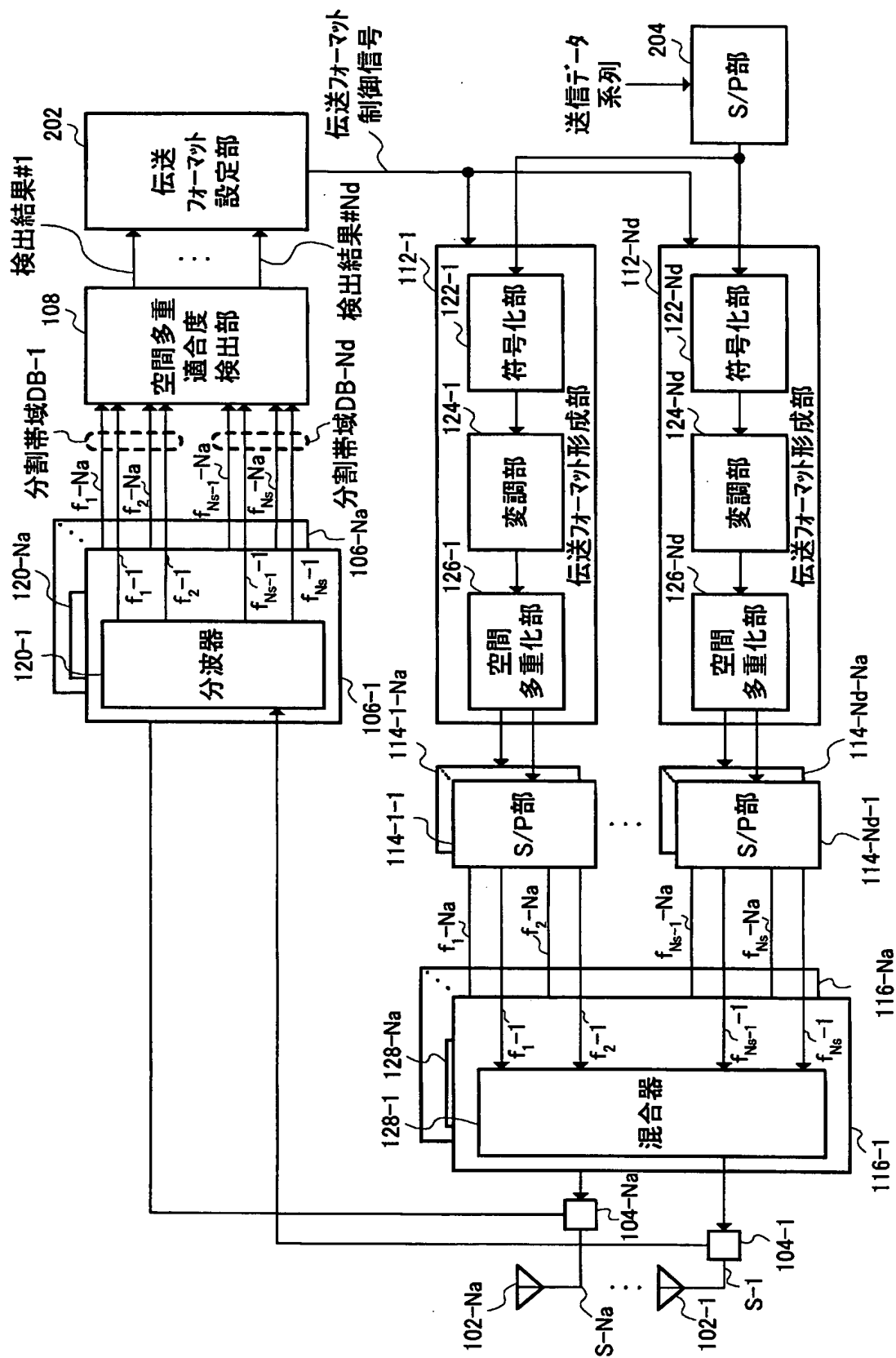


[図4]

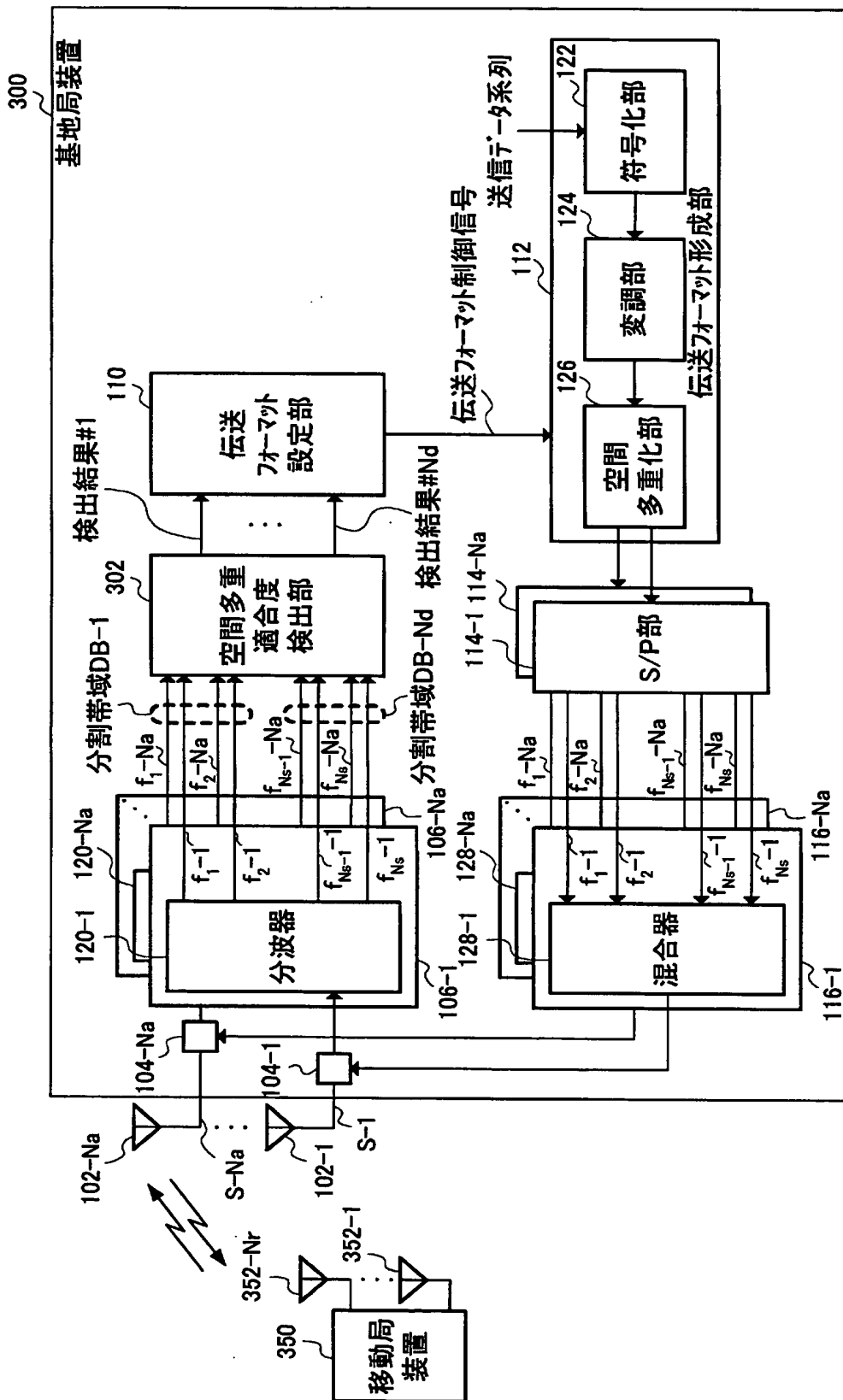


[図5]

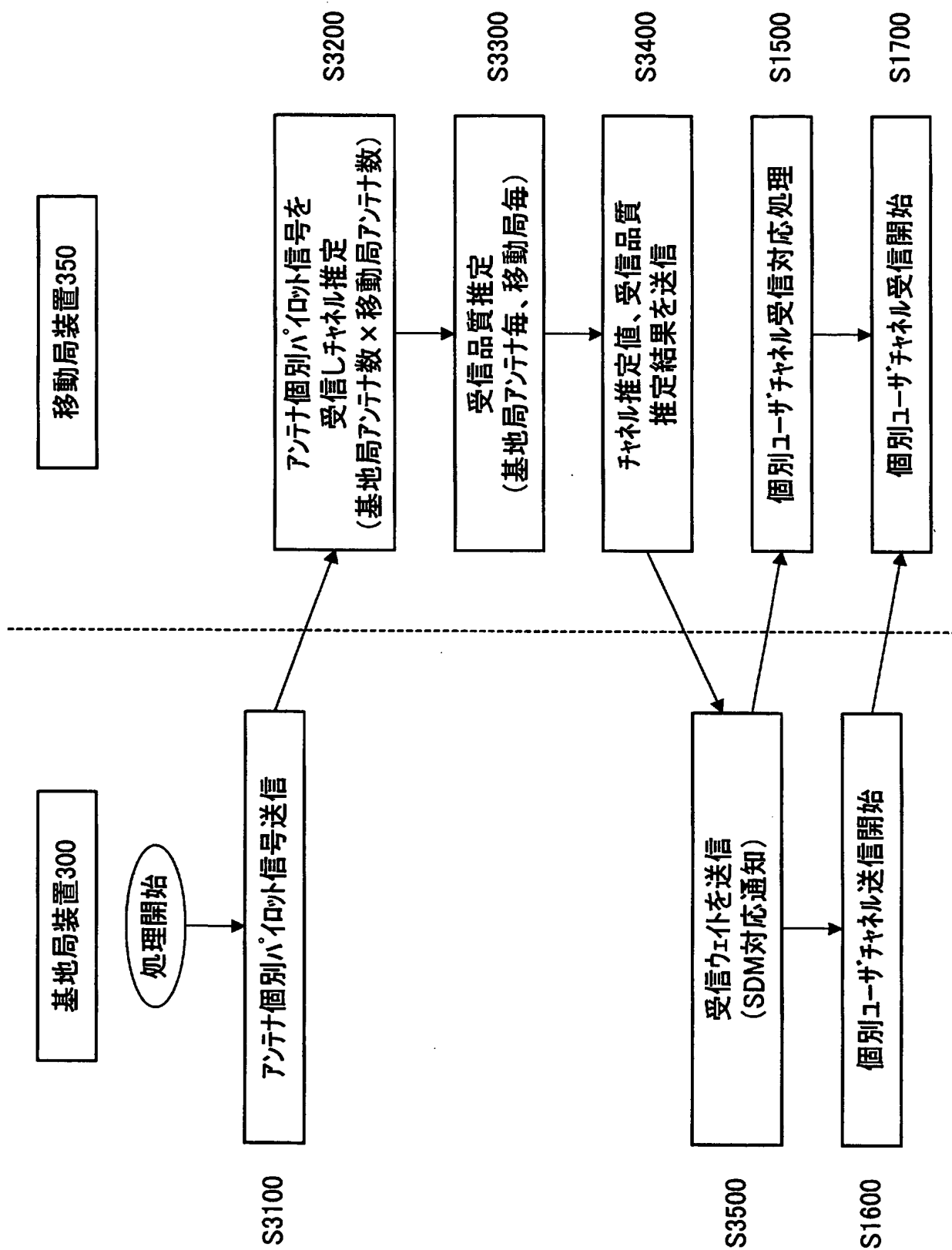
200



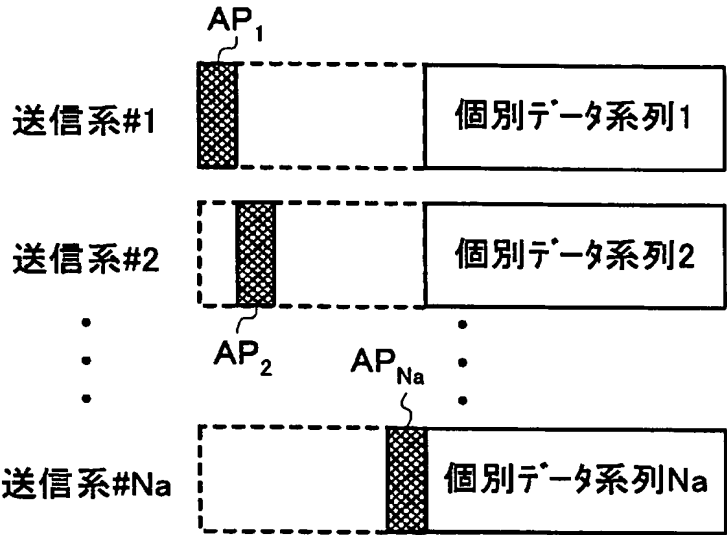
[図6]



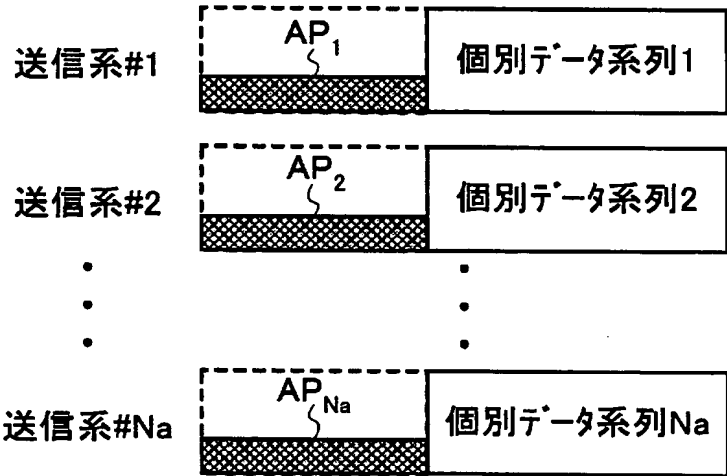
[図7]



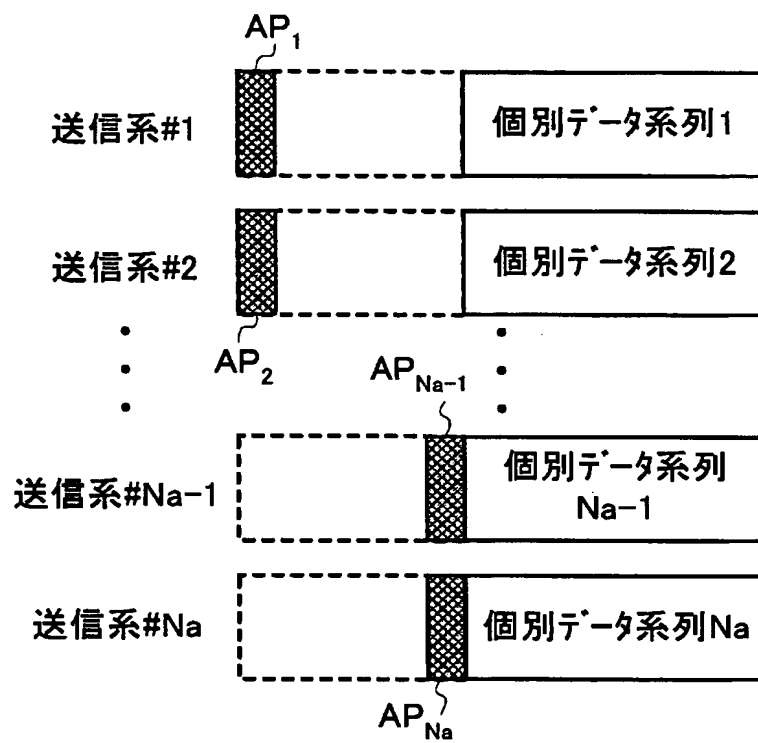
[図8A]



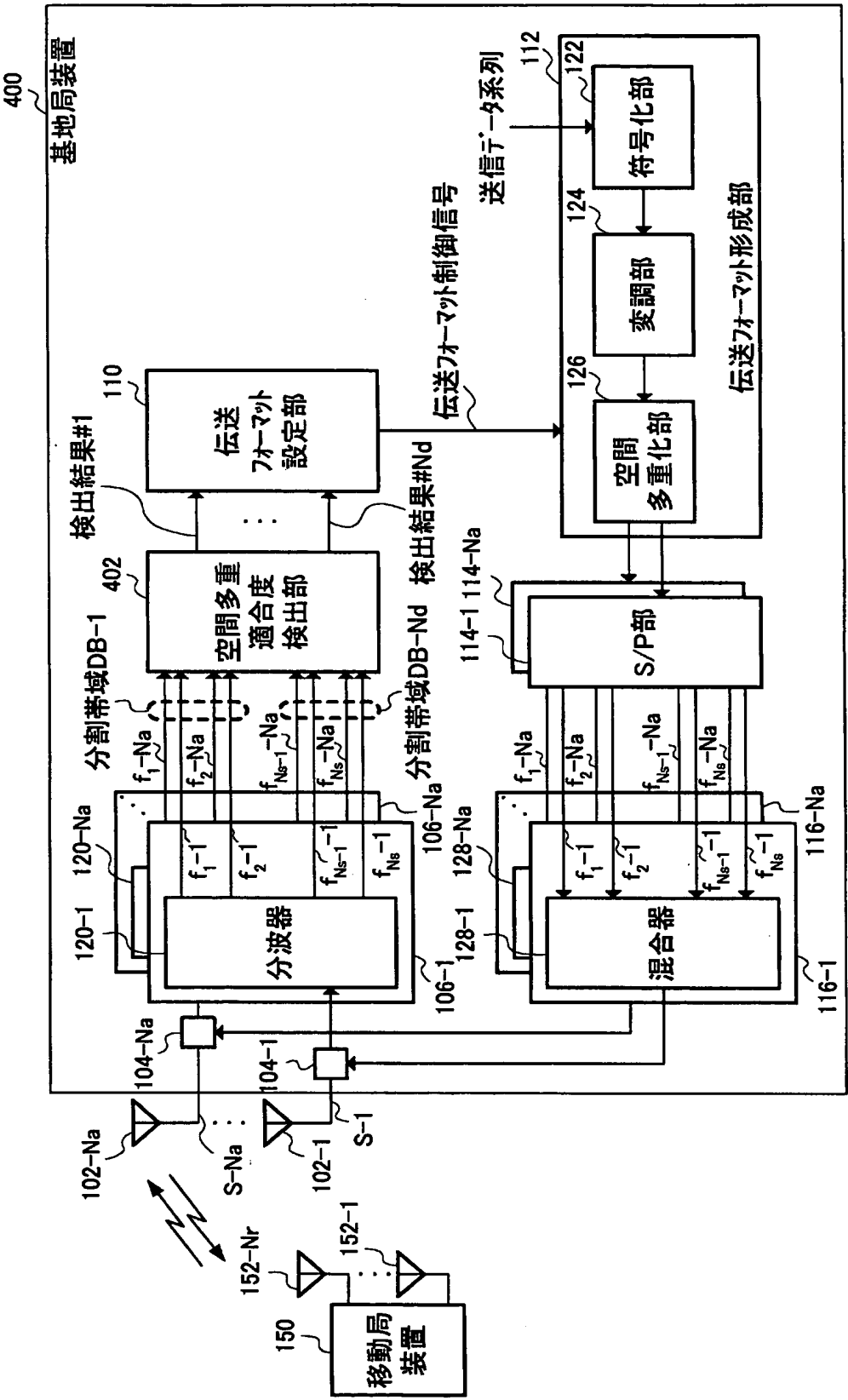
[図8B]



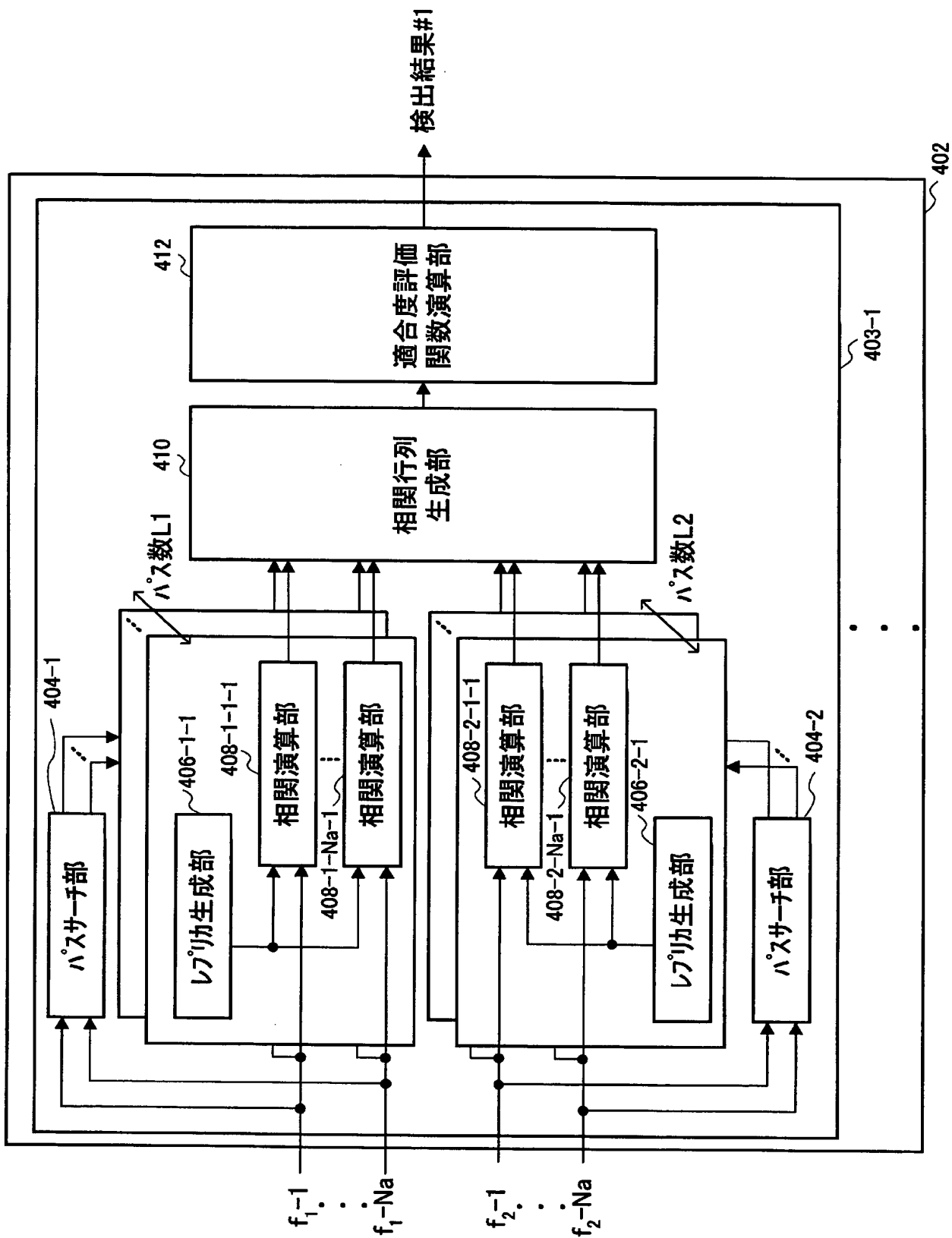
[図8C]



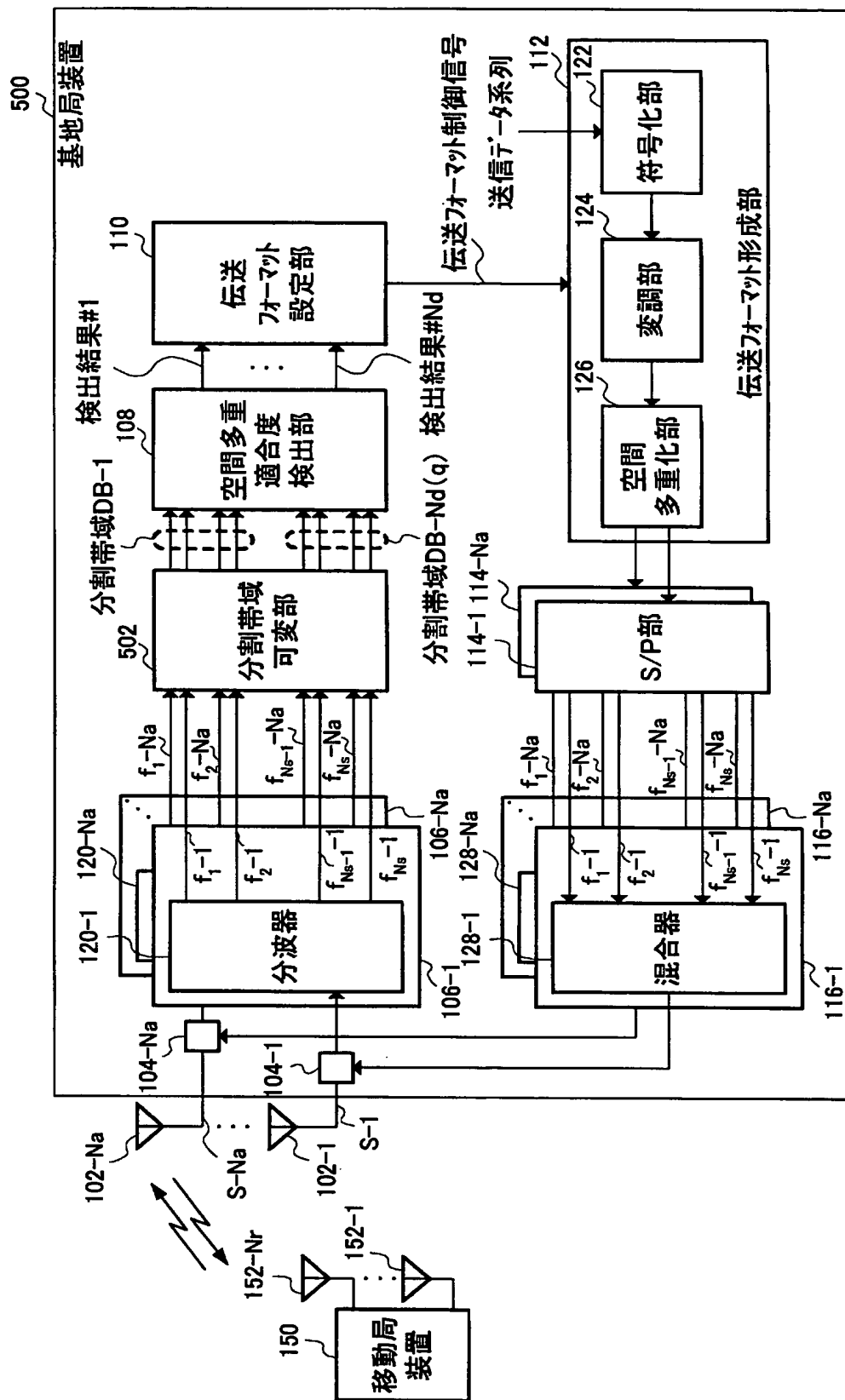
[図9]



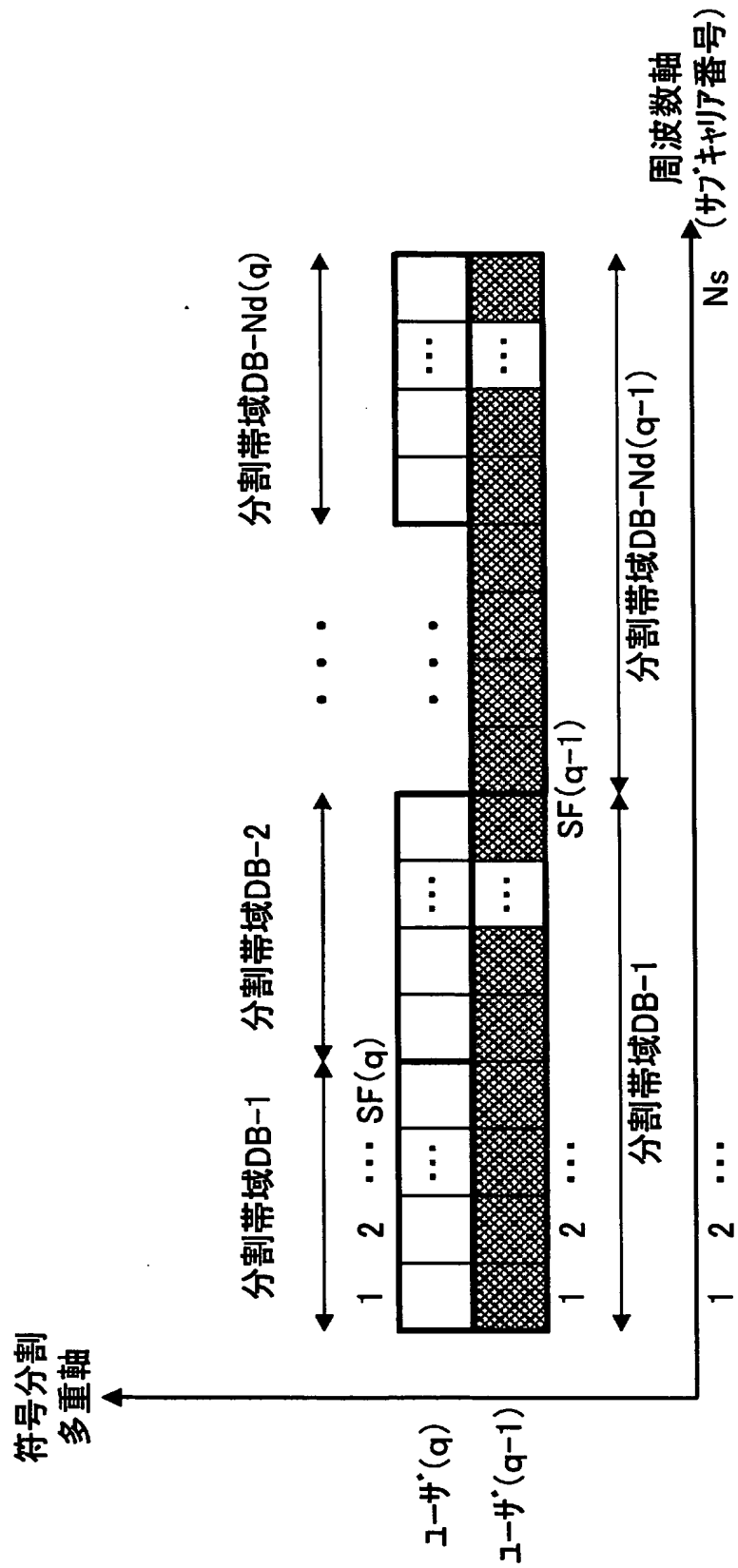
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010632

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04J15/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04J15/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Shang Jing, Gao Yan, Li Zhen, Man Yi, Song Junde, "PERFORMANCE STUDY OF ADAPTIVE MODULATION/CODING IN MIMO-OFDM SYSTEM", Electrical and Computer Engineering, 2003. IEEE CCECE 2003. Canadian Conference on. Vol.3, 2003 May, pages 1559 to 1562	1, 29-31 2-28
Y A	JP 2003-169036 A (Nippon Terekomu Kabushiki Kaisha), 13 June, 2003 (13.06.03), Full text; all drawings (Family: none)	1, 29-31 2-28

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 October, 2004 (25.10.04)

Date of mailing of the international search report
09 November, 2004 (09.11.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010632

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-158499 A (Mitsubishi Electric Corp.), 30 May, 2003 (30.05.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-31
A	JP 2002-246958 A (Mitsubishi Electric Corp.), 30 August, 2002 (30.08.02), Full text; all drawings & WO 2002/067478 A1 & EP 1367752 A1 & US 2004/0076172 A1	1-31
A	JP 2003-110517 A (Toshiba Corp.), 11 April, 2003 (11.04.03), Par. Nos. [0012], [0065] to [0069] & US 2003/0060165 A1	1-31
A	JP 2003-069531 A (Mitsubishi Electric Corp.), 07 March, 2003 (07.03.03), Full text; all drawings & WO 2003/019832 A1 & US 2004/0037262 A1 & EP 1420531 A1 & CN 1479982 A	1-31
A	JP 2002-374224 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 December, 2002 (26.12.02), Full text; all drawings & EP 1249980 A2 & CA 2380977 A1 & US 2002/0191535 A1 & KR 2002079489 A & CN 1380778 A & JP 2003-060604 A & JP 2003-124907 A	1-31

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04J15/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04J15/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926年-1996年

日本国公開実用新案公報 1971年-2004年

日本国登録実用新案公報 1994年-2004年

日本国実用新案登録公報 1996年-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	Shang Jing, Gao Yan, Li Zhen, Man Yi, Song Junde, "PERFORMANCE STUDY OF ADAPTIVE MODULATION/CODING IN MIMO-OFDM SYSTEM", Electrical and Computer Engineering, 2003. IEEE CCECE 2003. Canadian Conference on, VOL. 3, 2003.05, pp.1559-1562	1, 29-31
A		2-28
Y	JP 2003-169036 A (日本テレコム株式会社), 2003.06.13	1, 29-31
A	全文, 全図 (ファミリーなし)	2-28

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.10.2004

国際調査報告の発送日

09.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高野 洋

5K

9647

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2003-158499 A (三菱電機株式会社) , 2003. 05. 30 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-31
A	J P 2002-246958 A (三菱電機株式会社) , 2002. 08. 30 全文, 全図 &WO 2002/067478 A1 &EP 1367752 A1 &US 2004/0076172 A1	1-31
A	J P 2003-110517 A (株式会社東芝) , 2003. 04. 11 第0012段落, 第0065段落~第0069段落 &US 2003/0060165 A1	1-31
A	J P 2003-069531 A (三菱電機株式会社) , 2003. 03. 07 全文, 全図 &WO 2003/019832 A1 &US 2004/0037262 A1 &EP 1420531 A1 &CN 1479982 A	1-31
A	J P 2002-374224 A (日本電信電話株式会社) , 2002. 12. 26 全文, 全図 &EP 1249980 A2 &CA 2380977 A1 &US 2002/0191535 A1 &KR 2002079489 A &CN 1380778 A &JP 2003-060604 A &JP 2003-124907 A	1-31